

# **DEFINIÇÃO E VALIDAÇÃO DE ZONAS DE MONITORIZAÇÃO E CONTROLO DE PERDAS DE ÁGUA NUM SISTEMA DE ABASTECIMENTO EM ALTA**

**CARLOS MIGUEL TAVARES MOREIRA**

novembro de 2016

# **DEFINIÇÃO E VALIDAÇÃO DE ZONAS DE MONITORIZAÇÃO E CONTROLO DE PERDAS DE ÁGUA NUM SISTEMA DE ABASTECIMENTO EM ALTA**

CARLOS MIGUEL TAVARES MOREIRA

Relatório de Estágio submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de:

**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL –INFRAESTRUTURAS**

Orientador: Eng.º Eduardo Bruno de Freitas Vivas

Supervisor: Dr. João Machado Sabino Domingues Vilaça (Águas do Norte, SA)

**NOVEMBRO DE 2016**



# ÍNDICE GERAL

Índice Geral .....	iii
Resumo .....	v
Abstract .....	vii
Agradecimentos .....	ix
Índice de Texto .....	xi
Índice de Figuras.....	xiii
Índice de Tabelas.....	xix
Acrónimos .....	xxiii
1    Introdução.....	1
2    Contexto Institucional do Estágio .....	5
3    Enquadramento Teórico .....	11
4    Análise de Perdas .....	37
5    Considerações Finais .....	129
Referências Bibliográficas .....	131
Anexos .....	135





## RESUMO

A água, recurso essencial à vida, apresenta-se como um fator fulcral ao desenvolvimento socioeconómico de uma sociedade, demonstrando a sua importância como recurso estratégico e estruturante. Desta forma, compreende-se a necessidade e crescente preocupação das entidades responsáveis, pelo sector da água, na redução, dentro do possível, dos volumes de água perdidos nos sistemas de abastecimento.

Para controlo e redução das perdas de água é imprescindível um processo de monitorização de todo o sistema de abastecimento de água, desde o processo de captação até à sua distribuição ao utilizador, permitindo, desta forma, um auxílio na localização das situações que carecem de uma maior atenção, para assim colmatar essas lacunas.

O sucesso da monitorização encontra-se, todavia, dependente da fiabilidade dos dados medidos pelos equipamentos de medição, nomeadamente dos caudalímetros e dos medidores de nível.

Na tentativa de validar o funcionamento dos principais equipamentos de medição de água no subsistema adutor Lever-Norte, da Águas do Norte, S.A., foram realizadas análises baseadas em balanços hídricos. Posteriormente, procedeu-se a estudo idêntico dos equipamentos de medição localizados nas instalações da ETA de Lever, incidindo, especialmente, numa análise das fases de captação e de elevação de água tratada.

Em complementaridade às análises realizadas, foram definidas zonas de monitorização e controlo (ZMC) para o subsistema Lever-Norte com vista a um maior controlo dos caudais e perdas no sistema.

Os resultados obtidos, permitiram o apuramento do funcionamento dos principais equipamentos de medição, do subsistema Lever-Norte, que revelou que as perdas verificadas são, na sua maioria, aparentes, e resultantes de diferenças de leitura dos equipamentos de medição.

Não obstante, refira-se que, em alguns casos, as análises efetuadas demonstraram-se inclusivas, fruto do número de variáveis que atuam em simultâneo, na avaliação de balanços hídricos e/ou das condições em que as análises se sucederam e, em que não foi possível a sua alteração.

**Palavras-chave:** abastecimento de água, perdas, equipamentos de medição, zona de medição e controlo.



## **ABSTRACT**

Water, as a essential resource, presents itself as a key factor in the economic development of a society, demonstrating its importance as a strategic and structuring resource. In this way, water utilities show a growing concern to minimize, as far as possible, the volumes of water loss in water supply systems.

To control and decrease water losses in a water supply system it is essential to monitor the process of the entire water supply system, from collection to distribution to the final user, allowing, the location of the problematic situations that require greater attention.

The success of the monitoring is, however, dependent on the reliability of the data measured by the measuring equipment, in particular of the meters and the level meters.

In an attempt to validate the operation of the measuring equipment installed on the Lever-Norte supply system belonging to Águas do Norte, S.A., analyses were carried out based on water balance. Later, similar study was made to evaluate the measuring equipment located on the water treatment plant of Lever, focusing the phases of collection and adduction of the water.

In complementarity to the analyses carried out, monitoring and control areas (ZMC) were set to the subsystem of Lever-Norte in order to better control the flow rates and losses in the system.

The results obtained allowed to qualify the operation of the main measurement equipment, which revealed that the losses are in the most cases apparent, and resulting from differences in the measurement equipment.

Nevertheless, it should be noted that, in some cases, the analysis performed proved to be inconclusive, product of the number of variables that act simultaneously in the evaluation of water balances and/or the conditions under which the tests were performed.

**Keywords:** Water supply system, losses, measuring equipment, measurement and control zone.



## **AGRADECIMENTOS**

O presente relatório representa a conclusão de todo um percurso para o qual foi imprescindível o contributo de inúmeras pessoas e entidades, a quem gostaria de expressar o meu sincero agradecimento.

Agradeço à Águas do Norte, S.A. e ao Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) a oportunidade para a realização deste estágio.

Ao meu orientador, Eng.º Eduardo Vivas, por toda a disponibilidade, partilha de conhecimentos e pelo interesse demonstrado em todos os assuntos abordados no decorrer deste estágio.

Ao Dr. João Vilaça, pela discussão dos temas a ser abordados no estágio e pela disponibilidade sempre demonstrada.

Ao Eng.º João Ferreira, que me orientou na empresa, pela integração, pela simpatia, pela preocupação e disponibilidade demonstrada para responder a todas as questões que surgiram ao longo do estágio.

Aos engenheiros José Tavares e Sara Vieira, por toda a ajuda prestada no esclarecimento de questões relacionadas com a rede da empresa e pela discussão dos vários temas abordados.

À Eng.ª Ana Costa e Manuela Pacheco, pela simpatia, pela integração e bom ambiente de trabalho disponibilizado.

Aos meus pais e família, que com o seu constante apoio, sempre me garantiram a segurança, confiança, estabilidade, compreensão e incentivo para que todos os meus projetos atingissem o melhor resultado possível.

À Cristina Ribeiro pelo seu apoio incondicional e ajuda prestada.

Aos colegas e amigos que compreenderam as minhas ausências nos momentos em que precisava de dedicar-me inteiramente ao trabalho.



# ÍNDICE DE TEXTO

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento e Objetivos .....	2
1.2	Estrutura do Documento .....	3
2	Contexto Institucional do Estágio .....	5
2.1	Sector da Água em Portugal .....	5
2.2	Águas do Norte, S.A. ....	7
2.2.1	Missão, Visão e Estratégia .....	8
3	Enquadramento Teórico .....	11
3.1	Fugas e Perdas de Água .....	12
3.2	Redução e Controlo de Perdas de Água .....	14
3.3	Balanço Hídrico .....	16
3.4	Zonas de Medição e Controlo – “ZMC” .....	19
3.5	Equipamentos de Medição .....	20
3.5.1	Caudalímetros.....	21
3.5.2	Disposições de Instalação dos Equipamentos de Medição .....	29
3.5.3	Medidores de Nível .....	32
3.6	Avaliação da Incerteza dos Resultados .....	34
3.6.1	Caso da Soma e da Subtração.....	35
3.6.2	Caso do Produto e da Divisão .....	35
4	Análise de Perdas .....	37



4.1	Rede Águas do Norte, S.A. ....	37
4.1.1	Subsistema Lever – Norte .....	38
4.1.2	Subsistema Lever – Sul .....	43
4.2	Validações e Ensaios .....	44
4.2.1	Reservatórios do Subsistema Lever – Norte.....	46
4.2.2	Quadro Síntese .....	60
4.2.3	Caudalímetros.....	61
4.2.4	Estação de Tratamento de Água de Lever .....	77
4.3	Zonas de medição e controlo.....	115
4.3.1	Subsistema Lever – Norte .....	115
5	Considerações Finais .....	129
5.1	Conclusões .....	129
5.2	Desenvolvimentos Futuros .....	130
	Referências Bibliográficas.....	131
	Anexos .....	135

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Ciclo Urbano da água. ....	5
Figura 2.2 – Objetivos estratégicos do plano PENSAAR 2020. ....	7
Figura 2.3 – Constituição Águas do Norte. ....	7
Figura 2.4 – Mapa de concelhos integrados nas Águas do Norte (Águas do Norte, 2015). ....	8
Figura 2.5 – Estratégia da Águas do Norte, S.A. (Águas do Norte, 2015) ....	9
Figura 3.1 – Tipos de fugas – Reported (Visíveis); Underground (Invisíveis); Background (Juntas, Válvulas e Órgãos Acessórios) (GIZ <i>et al.</i> , 2011). ....	13
Figura 3.2 – Fases de abordagem para a problemática do controlo das perdas reais (Alegre <i>et al.</i> , 2005) .....	15
Figura 3.3 – Principais pontos de controlo para realização de um balanço hídrico (Alegre <i>et al.</i> , 2004)..	17
Figura 3.4 – Componentes do balanço hídrico (Alegre <i>et al.</i> , 2005). ....	18
Figura 3.5 – Exemplo de 3 “ZMC’s” (Alegre <i>et al.</i> , 2005). ....	19
Figura 3.6 – Representação dos caudalímetros eletromagnéticos tubulares, à esquerda de inserção, à direita (Henrique <i>et al.</i> , 2007). ....	23
Figura 3.7 – Posicionamento do primário nos caudalímetros tubulares, à esquerda, e inserção, à direita (Henrique <i>et al.</i> , 2007). ....	24
Figura 3.8 – Representação de componentes de incerteza num sistema de medição de caudal usando um caudalímetro eletromagnético (LNEC, 2008). ....	25
Figura 3.9 – Exemplo de um caudalímetro ultrassónico (Henrique <i>et al.</i> , 2007). ....	26
Figura 3.10 – Exemplo de um caudalímetro ultrassónico de trajeto único e transmissão direta (Henrique <i>et al.</i> , 2007). ....	27
Figura 3.11 – Exemplo de um caudalímetro ultrassónico de trajeto único e transmissão por reflexão (Henrique <i>et al.</i> , 2007). ....	27

Figura 3.12 – Exemplo de um caudalímetro ultrassónico com transdutores sobre a conduta (Henrique <i>et al.</i> , 2007).....	28
Figura 3.13 – Exemplos de instalação do primário de caudalímetros eletromagnéticos (Henrique <i>et al.</i> , 2007). ....	29
Figura 3.14 – Comprimentos mínimos a verificar para a instalação do primário do caudalímetro (Henrique <i>et al.</i> , 2007). ....	30
Figura 3.15 – Disposições para o posicionamento do par de eléctrodos de um caudalímetro de inserção (Henrique <i>et al.</i> , 2007). ....	31
Figura 3.16 – Comprimento mínimo a assegurar a jusante do primário (Henrique <i>et al.</i> , 2007). ....	31
Figura 3.17 – Exemplo de medidor de nível ultrassónico, à esquerda, e da sua aplicação, à direita (Emerson, 2013); Vega, 2016). ....	32
Figura 3.18 – Exemplo de um medidor de nível hidrostático, à esquerda, e da sua aplicação, à direita (Vega, 2016; Wika, 2016). ....	33
Figura 4.1 – Distribuição dos centros operacionais e de manutenção pela região Norte (Águas do Norte, 2015). ....	37
Figura 4.2 – Mapa centro de operações Grande Porto e Tâmega/Sousa (Águas do Norte, 2015). ....	38
Figura 4.3 – Mapa representativo do subsistema Lever - Norte.....	39
Figura 4.4 – Mapa representativo do subsistema Lever - Sul. ....	43
Figura 4.5 – Esquema representativo dos equipamentos de medição.....	45
Figura 4.6 – Exemplo aplicação metodologia ao reservatório de Monte Pedro.....	45
Figura 4.7 – Exemplo aplicação da metodologia ao caudalímetro “435”. ....	46
Figura 4.8 – Perdas registadas ao longo do mês de março no reservatório de Jovim.....	49
Figura 4.9 – Perdas registadas ao longo do mês de março no reservatório de Ramalde. ....	50
Figura 4.10 – Perdas registadas ao longo do mês de março no reservatório de Monte Pedro.....	51
Figura 4.11 – Perdas registadas ao longo do mês de março no reservatório de Pedrouços. ....	52
Figura 4.12 – Perdas registadas ao longo do mês de março no reservatório de Lagoa.....	53
Figura 4.13 – Perdas registadas ao longo do mês de março no reservatório de Seixo Alvo. ....	54
Figura 4.14 – Complexo ETA de Lever. ....	78

Figura 4.15 – Captação Superficial.....	78
Figura 4.16 – Poços de captação sub-aluvionar.....	78
Figura 4.17 – Caudalímetros dos grupos eletrobomba da captação superficial.....	79
Figura 4.18 – Esquema de montagem do caudalímetro.....	81
Figura 4.19 – Aparelhamento do tramo da conduta.....	81
Figura 4.20 – Remoção tramo da conduta.....	81
Figura 4.21 – Caudalímetros dos grupos eletrobomba 1 e 2.....	81
Figura 4.22 – Aspeto da conduta a montante do caudalímetro antes da limpeza.....	81
Figura 4.23 – Aspeto da conduta a montante do caudalímetro após limpeza.....	81
Figura 4.24 – Instalação do caudalímetro portátil no tramo horizontal de conduta.....	83
Figura 4.25 – Instalação do caudalímetro portátil no tramo vertical de conduta.....	83
Figura 4.26 – Instalação do caudalímetro portátil no tramo vertical de conduta.....	83
Figura 4.27 – Poço Captação Lever Montante.....	84
Figura 4.28 – Poço de captação sub-aluvionar de Lever Montante.....	84
Figura 4.29 – Esquema em planta das células norte e sul do reservatório de água filtrada (RAF). .....	85
Figura 4.30 – Corte transversal das células do RAF.....	86
Figura 4.31 – Pormenor da caleira central e do descarregador.....	86
Figura 4.32 – Corte transversal da célula sul do RAF.....	86
Figura 4.33 – Esquema em planta das células do reservatório de água tratada (RAF). .....	88
Figura 4.34 – Corte transversal célula Norte RAF.....	88
Figura 4.35 – Exemplo de determinação de uma diferença de volumes com recurso à folha de cálculo.....	90
Figura 4.36 – Coletor da estação elevatória à saída da RAF de Lever.....	91
Figura 4.37 – Planta dos coletores e caudalímetros da estação elevatória da RAF de Lever.....	92
Figura 4.38 – Comparação entre as diferenças verificadas no reservatório de Lagoa e o caudalímetro do coletor RAF-Lagoa “911” nos dias de março, m <sup>3</sup> . .....	94
Figura 4.39 – Evolução das diferenças, em m <sup>3</sup> /h, para cada grupo eletrobomba da estação elevatória da RAF de Lever.....	100

Figura 4.40 – Coletor do poço de montante e início das condutas DN1000 e DN1200.....	102
Figura 4.41 – Eflorescência de água á superfície. ....	106
Figura 4.42 – Abertura da vala para apurar a origem da água.....	107
Figura 4.43 – Fissura na conduta DN1200.....	107
Figura 4.44 – Maciço de ancoramento da conduta DN1200.....	108
Figura 4.45 – Tramo de conduta a ser instalado. ....	108
Figura 4.46 – Espessura dos depósitos nas paredes da conduta DN1200. ....	108
Figura 4.47 – Remoção do caudalímetro “900” .....	110
Figura 4.48 – Aspeto do interior do caudalímetro .....	110
Figura 4.49 – Espessura de depósitos dentro do caudalímetro “900” .....	110
Figura 4.50 – Pormenor da espessura do depósito dentro do caudalímetro “900”. ....	110
Figura 4.51 – Depósitos nas paredes da conduta DN1000. ....	111
Figura 4.52 – Aspeto do interior do caudalímetro antes da limpeza.....	111
Figura 4.53 – Aspeto do interior do caudalímetro após a limpeza. ....	111
Figura 4.54 – Aspeto da água ao início da limpeza. ....	112
Figura 4.55 – Aspeto da água no final da limpeza.....	112
Figura 4.56 – Exemplo de aplicação de cálculo de perdas nas zonas de medição do subsistema Lever-Norte. ....	116
Figura 4.57 – Perdas nas zonas de medição e controlo do subsistema Lever-Norte no mês de abril....	117
Figura 4.58 – Perdas totais no subsistema Lever-Norte ao longo do mês de abril.....	118
Figura 4.59 – Perdas nas zonas de medição e controlo do subsistema Lever-Norte no mês de maio. ....	119
Figura 4.60 – Perdas totais no subsistema Lever-Norte ao longo do mês de maio. ....	119
Figura 4.61 – Perdas nas zonas de medição e controlo do subsistema Lever-Norte mês de junho.....	121
Figura 4.62 – Perdas totais no subsistema Lever-Norte ao longo do mês de junho.....	121
Figura 4.63 – Perdas nas zonas de medição e controlo do subsistema Lever-Norte no mês de julho. ....	122
Figura 4.64 – Perdas totais no subsistema Lever-Norte ao longo do mês de julho. ....	123
Figura 4.65 – Perdas registadas nas zonas de medição em função do mês. ....	124

Figura 4.66 – Perdas totais registadas no subsistema Lever-Note ao longo dos meses de abril a julho. 126



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 – Valores de incerteza padrão para caudalímetros eletromagnéticos (Henrique, Palma & Ribeiro, 2007).....	25
Tabela 3.2 – Valores de incerteza padrão para caudalímetros ultrassónicos (Henrique, Palma & Ribeiro, 2007). ....	28
Tabela 3.3 – Comprimentos mínimos a assegurar a montante do primário para a montagem de um caudalímetro de inserção (Henrique, Palma & Ribeiro, 2007). ....	31
Tabela 4.1 – Reservatório de Jovim.....	40
Tabela 4.2 – Reservatório de Ramalde.....	40
Tabela 4.3 – Reservatório de Monte Pedro. ....	41
Tabela 4.4 – Reservatório de Pedrouços.....	41
Tabela 4.5 – Características das adutoras subsistema Lever - Norte.....	42
Tabela 4.6 – Caudalímetros do Subsistema Lever – Norte, municípios do Porto, Maia e Valongo. ....	42
Tabela 4.7 – Caudalímetros do Subsistema Lever – Norte, municípios de Gondomar, Matosinhos e Paredes.....	42
Tabela 4.8 – Reservatório de Lagoa. ....	44
Tabela 4.9 – Reservatório de Seixo Alvo. ....	44
Tabela 4.10 – Ensaio diário para o reservatório de Jovim. ....	48
Tabela 4.11 – Ensaio diário para o reservatório de Ramalde.....	49
Tabela 4.12 – Ensaio diário para o reservatório de Monte Pedro. ....	50
Tabela 4.13 – Ensaio diário para o reservatório de Pedrouços.....	52
Tabela 4.14 – Ensaio diário para o reservatório de Lagoa. ....	53
Tabela 4.15 – Ensaio diário para o reservatório de Seixo Alvo. ....	54
Tabela 4.16 – Ensaio hora de ponta para o reservatório de Jovim.....	55



Tabela 4.17 – Ensaio hora de ponta para o reservatório de Ramalde. ....	56
Tabela 4.18 – Ensaio hora de ponta para o reservatório de Monte Pedro. ....	57
Tabela 4.19 – Ensaio hora de ponta para o reservatório de Pedrouços. ....	58
Tabela 4.20 – Ensaio hora de ponta para o reservatório de Lagoa. ....	58
Tabela 4.21 – Ensaio hora de ponta para o reservatório de Seixo Alvo. ....	59
Tabela 4.22 – Síntese das análises realizadas para os principais reservatórios do subsistema Lever-Norte, Lagoa e Seixo Alvo. ....	60
Tabela 4.23 – Comparação entre as perdas médias obtidas para cada análise e a incerteza associada... 61	
Tabela 4.24 – Análise da saída gravítica de Lagoa – “930”. ....	62
Tabela 4.25 – Resumo dos volumes médios de entrada e saída no reservatório de Jovim com duas elevatórias. ....	64
Tabela 4.26 – Resumo dos resultados obtidos com as duas elevatórias em funcionamento. ....	64
Tabela 4.27 – Resumo dos volumes de entrada e saída no reservatório de Jovim com uma elevatória. . 65	
Tabela 4.28 – Resultados médios obtidos com uma elevatória em funcionamento. ....	65
Tabela 4.29 – Volumes diários de entrada e saída no reservatório de Jovim. ....	66
Tabela 4.30 – Volumes parcelares de entrada e saída no reservatório de Jovim. ....	66
Tabela 4.31 – Volumes de entrada e saída no reservatório de Ramalde. ....	67
Tabela 4.32 – Resultados obtidos pelo ensaio no reservatório de Ramalde. ....	68
Tabela 4.33 – Volumes de entrada e saída no reservatório de Ramalde no dia 3 de junho. ....	68
Tabela 4.34 – Volumes de entrada e saída no reservatório de Ramalde no dia 6 de junho. ....	69
Tabela 4.35 – Resultados obtidos pelo ensaio no reservatório de Ramalde no dia 3 de junho. ....	69
Tabela 4.36 – Resultados obtidos pelo ensaio no reservatório de Ramalde no dia 6 de junho. ....	69
Tabela 4.37 – Resumo do ensaio ao caudalímetro de saída de Ramalde. ....	70
Tabela 4.38 – Volumes contabilizados pelos caudalímetros entre os reservatórios de Ramalde e Pedrouços. ....	71
Tabela 4.39 – Resultados obtidos da aplicação do ensaio ao caudalímetro “362” ....	71
Tabela 4.40 – Volumes de entrada e saída contabilizados no reservatório de Pedrouços. ....	73
Tabela 4.41 – Resultados obtidos da aplicação do ensaio. ....	73

Tabela 4.42 – Volumes de entrada e saída do reservatório de Pedrouços.....	74
Tabela 4.43 – Resultados obtidos para o ensaio de Pedrouços no dia 7 de março.....	75
Tabela 4.44 – Resumo dos resultados obtidos de 5 a 8 de junho.....	76
Tabela 4.45 – Resumo dos resultados obtidos para as análises dos caudalímetros.....	77
Tabela 4.46 – Verificação da perda de caudal em função do diâmetro interno da conduta.....	80
Tabela 4.47 – Áreas Célula Norte RAF.....	87
Tabela 4.48 – Áreas Célula Sul RAFF.....	87
Tabela 4.49 – Áreas conduta célula Sul do RAF.....	87
Tabela 4.50 – Áreas descarregador RAF.....	87
Tabela 4.51 – Áreas Célula Norte RAT.....	89
Tabela 4.52 – Áreas Célula Sul RAT. ....	89
Tabela 4.53 – Áreas Câmara Entrada RAT.....	89
Tabela 4.54 – Áreas Câmara de Aspiração RAT.....	89
Tabela 4.55 – Resultados validação do LPE.....	90
Tabela 4.56 – Comparação entre os volumes do caudalímetro “911” e os grupos eletrobomba.....	93
Tabela 4.57– Volumes de entrada e saída registados ao longo do ensaio. ....	95
Tabela 4.58– Volumes de entrada e saída de janeiro a março. ....	96
Tabela 4.59– Percentagem de utilização de cada grupo eletrobomba em cada mês. ....	96
Tabela 4.60– Perdas verificadas em casa mês. ....	97
Tabela 4.61– Ensaio ao grupo eletrobomba 9 da estação elevatória da ETA de Lever. ....	97
Tabela 4.62– Ensaio ao grupo eletrobomba 10 da estação elevatória da ETA de Lever. ....	98
Tabela 4.63– Ensaio ao grupo eletrobomba 11 da estação elevatória da ETA de Lever. ....	98
Tabela 4.64– Ensaio ao grupo eletrobomba 12 da estação elevatória da ETA de Lever. ....	98
Tabela 4.65– Ensaio ao grupo eletrobomba 13 da estação elevatória da ETA de Lever. ....	99
Tabela 4.66– Ensaio ao grupo eletrobomba 14 da estação elevatória da ETA de Lever. ....	99
Tabela 4.67– Ensaio para validação do LPE.....	101
Tabela 4.68– Avaliação de perdas no subsistema Lever-Norte. ....	103

Tabela 4.69– Avaliação de perdas no subsistema Lever-Norte com Lever-Montante parado. ....	103
Tabela 4.70– Avaliação de perdas no subsistema Lever-Norte com Lever-Montante parado, segundo ensaio. ....	104
Tabela 4.71– Volumes grupos eletrobomba da captação superficial. ....	105
Tabela 4.72– Volumes grupos eletrobomba da estação elevatória da ETA de Lever. ....	105
Tabela 4.73– Perdas na ETA de Lever com Lever-Montante parado. ....	106
Tabela 4.74– Perdas na ETA de Lever com Lever-Montante parado, segundo ensaio. ....	106
Tabela 4.75– Ensaio com 2 grupos de bombagem.....	109
Tabela 4.76– Ensaio com 3 grupos de bombagem.....	109
Tabela 4.77– Avaliação das perdas no subsistema Lever-Norte após a intervenção. ....	112
Tabela 4.78– Volumes grupos eletrobomba da captação superficial da ETA de Lever.....	113
Tabela 4.79– Volumes grupos eletrobomba da estação elevatória da ETA de Lever. ....	113
Tabela 4.80– Avaliação das perdas na ETA de Lever após a intervenção. ....	114
Tabela 4.81 – Resumo dos resultados obtidos para as análises dos caudalímetros.....	115
Tabela 4.82– Perdas médias diárias nas zonas de medição do subsistema Lever-Norte, mês de abril...	116
Tabela 4.83– Perdas nas zonas de medição do subsistema Lever-Norte, mês de maio.....	118
Tabela 4.84– Perdas nas zonas de medição do subsistema Lever-Norte, mês de junho.....	120
Tabela 4.85– Perdas médias nas zonas de medição do subsistema Lever-Norte, mês de julho. ....	121
Tabela 4.86– Perdas médias diárias mensais para as zonas de medição do subsistema Lever-Norte. ...	123

## ACRÓNIMOS

<b>ERSAR</b>	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
<b>ETA</b>	Estação de Tratamento de Água
<b>IRAR</b>	Instituto Regulador de Águas e Resíduos
<b>PEAASAR</b>	Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais
<b>PENSAAR</b>	Novo Plano Estratégico para o Sector do Abastecimento de Água e Águas Residuais
<b>RAF</b>	Reservatório de Água Filtrada
<b>RAT</b>	Reservatório de Água Tratada



# 1 INTRODUÇÃO

Considerado recurso essencial à vida, a água, enquanto substância líquida, cobre aproximadamente 70% da superfície terrestre, dos quais apenas 3% remetem para águas doces, sendo que cerca de dois terços se encontram em calotes polares ou lençóis freáticos (Rao, 2011).

Este recurso, imprescindível ao ser humano, encontra-se em progressivo declínio, estando propenso à sua escassez. A explicação para esta tendência reside no aumento da população, nas alterações climáticas, e ainda no seu uso abusivo e indevido (GIZ *et al.*, 2011).

As perdas de águas são inevitáveis nos sistemas de abastecimento, sendo que a totalidade das perdas advêm do somatório entre as perdas reais, isto é, da água perdida por fugas e/ou roturas de condutas, e das perdas aparentes que remetem para a água distribuída não faturada, e ainda a água consumida não autorizada (GIZ *et al.*, 2011). Estas perdas representam em média 6 a 25% do total da água fornecida, chegando algumas cidades europeias a atingir valores de 40% (Mashford, 2012).

Assim, as perdas de água assumem um papel preponderante, na ineficiência das entidades gestoras de abastecimento de água, sendo estimado um custo anual aproximado de 370 milhões de euros inerentes às perdas de água (Alegre *et al.*, 2005).

Com a crescente preocupação em minimizar as perdas de água nos sistemas de abastecimento, cada vez mais, são utilizados sistemas de gestão e monitorização. Estes dois sistemas visam travar um problema que não se encontra apenas confinado à perda de receita (EPA, 2010).

A implementação de sistemas de gestão e monitorização que permitam a redução das perdas revela-se um fator crucial, não apenas do ponto de vista económico, como também por questões sociais (GIZ *et al.*, 2011).

Desta forma, a implementação de sistemas de gestão e monitorização ativos de perdas é essencial para o desenvolvimento do sector (Alegre *et al.*, 2005).

A redução das perdas tem ainda por benefício mitigar os problemas ambientais e aliviar a pressão exercida sobre os escassos recursos hídricos, permitindo ainda reduzir os gastos energéticos despendidos no tratamento e adução de água (GIZ *et al.*, 2011).

## 1.1 ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS

Inserido no percurso académico, dos alunos do 2º ano do Mestrado em Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), o estágio curricular constitui a possibilidade de colocar em prática os conhecimentos teóricos advindos da formação académica, bem como a aquisição de novas competências adequadas à prática profissional. Esta experiência constituída por desafios, exigências e uma diversidade de atividades possibilita a compreensão dos casos práticos num ambiente de trabalho real.

Neste sentido surge o presente relatório, que tem por objetivo descrever, analisar e refletir sobre as principais atividades realizadas ao longo do estágio curricular, bem como evidenciar as aprendizagens e competências alcançadas ao longo deste percurso.

O estágio em enfoque decorreu no ano letivo 2015/2016, tendo lugar nas instalações das Águas do Norte, Grupo de Águas de Portugal, contando com a orientação na empresa do Dr. João Vilaça, Coordenador Regional de Operação - Douro Litoral, e supervisão no ISEP pelo Eng. Eduardo Vivas. Este estágio apresentou como principais objetivos a validação das medições e a definição de zonas de medição e controlo.

Assim, com o propósito de atingir os objetivos delineados, foi elaborado um plano de trabalho compreendendo:

1. Reconhecimento e esquematização dos subsistemas de Lever;
2. Avaliação das medições nos principais reservatórios do subsistema Lever-Norte;
3. Avaliação das medições dos caudalímetros de entrada e saída dos reservatórios do subsistema Lever-Norte;
4. Avaliação das medições dos caudalímetros da Estação de Tratamento de Água de Lever;
5. Definição das zonas de medição e controlo.

## **1.2 ESTRUTURA DO DOCUMENTO**

Por forma a permitir uma melhor compreensão do trabalho desenvolvido, o presente relatório foi estruturado em 5 capítulos.

Desta forma, no capítulo 1 é efetuada uma abordagem à temática, perdas de água, denotando-se a importância do estudo desta temática. Ainda dentro deste capítulo é apresentado um enquadramento do trabalho, assim como dos seus objetivos.

O capítulo 2 materializa uma abordagem ao sector da água em Portugal, enquadrando a instituição onde decorreu o estágio, fazendo referência às estratégias e objetivos definidos pela instituição.

No capítulo 3 são apresentados os fundamentos teóricos necessários à compreensão da temática e desenvolvimento do trabalho.

Por sua vez, no capítulo 4 é apresentado o trabalho desenvolvido ao longo do período de estágio, nomeadamente as validações das medições e as zonas de medição e controlo definidas.

No capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões retiradas do trabalho desenvolvido, assim como, propostas para futuros trabalhos dentro desta área de estudo.





## 2 CONTEXTO INSTITUCIONAL DO ESTÁGIO

### 2.1 SECTOR DA ÁGUA EM PORTUGAL

O abastecimento público de água, o saneamento de águas residuais urbanas e a gestão de resíduos urbanos constituem os serviços públicos essenciais para o desenvolvimento de uma sociedade, sendo impossível alcançar um verdadeiro desenvolvimento sem que estes serviços possuam uma rede generalizada ao longo de todo o território (ERSAR, 2015a). Estes serviços públicos demonstram um carácter estruturante para o ambiente socioeconómico de um país e apresentam um carácter elementar para a proteção e melhoria da saúde pública e do ambiente (PENSAAR, 2015b).

O conjunto de atividades compreendidas pelo abastecimento público de água e saneamento de águas residuais constitui o ciclo urbano da água, englobando todas as atividades desde a captação à rejeição final da água residual na natureza, tal como é possível observar na Figura 2.1 (ERSAR, 2015a).



Figura 2.1 – Ciclo Urbano da água.

Os serviços de abastecimento e saneamento público de água em Portugal encontravam-se, inicialmente, sob o domínio das atribuições autárquicas, no entanto, sofreram constantes atualizações desde a reorganização política dos serviços de saúde pública no final do século XIX (ERSAR, 2015a).

Atualmente, o enquadramento jurídico e institucional, que abrange o sector da água, é resultante do desenvolvimento das linhas de orientação subjacente à estratégia definida para o sector em 1993, aquando da adesão de Portugal à Comunidade Económica Europeia. As estratégias definidas contemplam (ERSAR, 2015a):

- Atribuição da responsabilidade dos serviços de abastecimento de água, de saneamento de águas residuais e de gestão de resíduos urbanos às autarquias, sendo os investimentos necessários

complementados pela Administração Central, no que diz respeito às atividades em alta, através da criação de sistemas multimunicipais, com gestão empresarial;

- Criar a possibilidade de os municípios cederem a gestão das atividades, mediante a sua concessão a empresas privadas especializadas na gestão e na exploração deste tipo de sistemas;
- Gerar, nos sistemas multimunicipais, condições para uma gestão partilhada com os municípios, abrindo ainda a possibilidade de participação de capitais e de conhecimentos privados.

Em 1995, a Comissão de Acompanhamento das Concessões deu os primeiros passos para a regulação dos serviços do sector da água, sendo que, no início do século XXI, foram intensificados os esforços pelo Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) a fim de promover a regulamentação estrutural, económica, da qualidade do serviço e da água, para consumo humano, da relação com os consumidores e da respetiva monitorização legal e contratual com as entidades gestoras concessionárias dos serviços (ERSAR, 2015a).

O Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais (PEAASAR), aprovado pelo XIV Governo Constitucional em abril de 2000, desempenhou um papel crucial para a estruturação do sector da água e do saneamento das águas residuais ao longo do período 2000-2006. Este plano, visava melhorar a cobertura dos sistemas de abastecimento de água e saneamento do país, procurando soluções sociais, ambientais e economicamente sustentáveis (ERSAR, 2015a).

O PEAASAR 2000-2006 orientou-se por quatro linhas estratégicas compreendidas pela requalificação ambiental, a procura por soluções integradas, a alta qualidade dos serviços fornecidos e a garantia da sustentabilidade (PEAASAR, 2007).

Este plano estratégico, centrou-se na procura de soluções para os problemas verificados nos sistemas em alta. Apesar dos progressos alcançados, este plano revelou-se ineficaz na resolução de questões fundamentais, o que originou a sua reformulação, o PEAASAR II, a implementar no período de 2007-2013.

O PEAASAR II, concentrou-se em resolver situações existentes nos sistemas em baixa, visando a redução de perdas e fugas nos sistemas de abastecimento. Este plano apresenta três objetivos estratégicos, (i) universalidade, continuidade e qualidade do serviço, (ii) sustentabilidade do sector e (iii) proteção dos valores de saúde pública e ambiental (ERSAR, 2015a).

Com a aplicação do PEAASAR II o balanço foi positivo, tendo-se registado uma evolução substancial no aumento da acessibilidade dos serviços de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais no período entre 2000-2013 (PENSAAR, 2015a). No ano de 2014 foi apurado que 95% das habitações dispunham de um serviço de abastecimento de água e 83% possuíam serviços de drenagem de águas residuais (Águas do Norte, 2016)

O aumento de acessibilidade aos serviços de abastecimento de água potável e saneamento vai de encontro ao promulgado pela declaração da Assembleia Geral das Nações Unidas, no ano de 2010, que defende o acesso a água potável e saneamento, como um direito humano essencial à vida (ERSAR, 2015b)

Com o término da vigência do PEAASAR II, pelo despacho nº9304/2013 de 02 de julho, foi criada uma comissão de acompanhamento dos trabalhos, com vista à elaboração do plano PENSAAR 2020, tendo como fundamentos a gestão dos ativos, a qualidade dos serviços prestados e a sustentabilidade, delegando para segundo plano a criação de infraestruturas com vista ao aumento da cobertura (PENSAAR, 2015a).

Desta forma, o plano PENSAAR 2020, a partir do balanço do PEAASAR II, definiu 5 eixos como objetivos estratégicos para o sector (PENSAAR, 2015a):

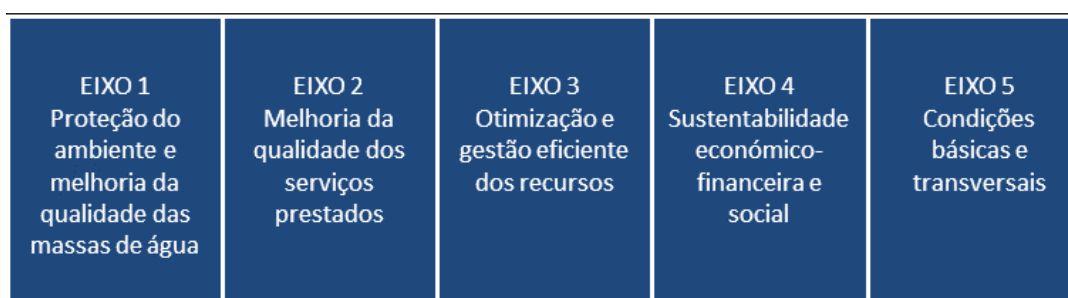


Figura 2.2 – Objetivos estratégicos do plano PENSAAR 2020.

## 2.2 ÁGUAS DO NORTE, S.A.

A exploração e gestão do sistema multimunicipal de abastecimento de água e de saneamento do Norte de Portugal é, desde o dia 29 de maio de 2015, responsabilidade exclusiva das Águas do Norte, S.A., conforme exposto pelo Decreto-Lei nº 93/2015, mediante a agregação das empresas Águas do Douro e Paiva, S.A., Águas de Trás-os-Montes e Alto Douro, S.A., SimDouro – Saneamento do Grande Porto, S.A. e Águas do Noroeste, S.A., integradas no Grupo Águas de Portugal (Águas do Norte, 2015). (ver Figura 2.3)



Figura 2.3 – Constituição Águas do Norte.



Figura 2.4 – Mapa de concelhos integrados nas Águas do Norte (Águas do Norte, 2015).

A Águas do Norte torna-se a entidade gestora do sistema multimunicipal em alta, sendo responsável pela captação, tratamento e abastecimento de água para consumo público, bem como, recolha e tratamento de efluentes.

Esta entidade, assume ainda a responsabilidade da exploração e gestão do sistema de águas da região do Noroeste, em resultado da celebração de uma Parceria entre o Estado (Administração Central) e 8 Municípios (Administração Local), que concretiza um processo de verticalização que reuniu, numa única entidade gestora, os serviços de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais em alta e em baixa de forma regular, contínua e eficiente (Águas do Norte, 2015). (ver Figura 2.4)

### 2.2.1 Missão, Visão e Estratégia

A Águas do Norte visa ser uma empresa de referência no sector da água em termos de qualidade do serviço público prestado e um parceiro ativo para o desenvolvimento da região onde se insere.

Para cumprir com este objetivo, esta entidade dá enfoque a atividades como a conceção, construção, exploração e gestão de todo o sistema multimunicipal de abastecimento e saneamento do Norte de Portugal, tendo sempre em vista a eficiência e sustentabilidade económica, social e ambiental.

Contribuindo assim para a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos e para o desenvolvimento socioeconómico da região (Águas do Norte, 2015).

Com base nestas diretrizes, a Águas do Norte ancora a sua estratégia em quatro fatores chave, descritos na Figura 2.5.



Figura 2.5 – Estratégia da Águas do Norte, S.A. (Águas do Norte, 2015)



### 3 ENQUADRAMENTO TEÓRICO

O sistema de abastecimento de água pode ser definido por uma série de processos que se sucedem temporalmente, entre o momento de captação de água, tratamento, elevação, transporte, armazenamento, distribuição, até à sua utilização pelo consumidor final. Assim, um sistema de abastecimento é constituído por dois subsistemas. Por um lado, o subsistema em alta, que integra os processos de captação, tratamento e transporte. Por outro, o subsistema em baixa, no qual se processa a distribuição de água até ao consumidor final (Vivas, 2014).

Os sistemas de abastecimento de água são projetados de forma a preservarem a sua integridade estrutural ao longo da sua vida útil, contudo é economicamente inviável e de difícil execução eliminar as perdas ao longo do sistema de abastecimento (Hovey *et al.*, 1999).

A complexidade de um sistema de abastecimento de água varia em função do tamanho, tipo e localização da população que abastece, bem como de acordo com a qualidade e origem da água que utiliza para satisfazer as necessidades do sistema (EPA, 2010).

A água utilizada pelo sistema de abastecimento pode ter origem superficial, subterrânea, ser proveniente de um outro sistema de abastecimento ou, ainda, ser resultado da combinação de cada uma destas. Todas as fontes supracitadas requerem recursos e fundos para a localização, desenvolvimento e tratamento de forma a garantir as suas condições de funcionamento (EPA, 2010).

Porém, as perdas económicas associadas às perdas de água e, ainda, a escassez de fontes de água de qualidade confiável e de tamanho adequado levaram os sistemas de abastecimento a implementar sistemas de controlo de perdas de água, suprimindo a necessidade de utilização de novas fontes (EPA, 2010).

Estes sistemas de controlo visam mitigar as perdas de água, tendo impacto direto em aspetos económicos, técnicos, sociais e, ecológicos, conduzindo desta forma a um sistema de abastecimento mais sustentável (GIZ *et al.*, 2011)

A dimensão económico-financeira das perdas de água revela-se de extrema importância, constituindo a principal motivação das entidades gestoras para levarem a cabo iniciativas que visam o controlo ativo da perda (Alegre *et al.*, 2005).



### 3.1 FUGAS E PERDAS DE ÁGUA

O volume de água correspondente a fugas e perdas de um sistema de abastecimento, de acordo com o *Manual de Gestão de Fugas WHO* (2001), é influenciado por quatro fatores (GIZ *et al.*, 2011). Numa primeira instância, as fugas num sistema de abastecimento podem ter (i) origem nas infraestruturas do sistema, abordando as condições de funcionamento como a pressão do sistema e políticas de renovação e, ainda, as condições de integridade dos materiais utilizados. (ii) A disponibilidade de água, de recursos humanos e financeiros constitui um outro fator chave. Por fim (iii), as políticas contra as fugas, bem como as (iv) ações levadas a cabo pelos organismos gestores, dos sistemas de abastecimento de água, são parte integrante dos fatores finais de influência de um sistema de abastecimento.

Dada a crescente preocupação com as perdas e fugas de água num sistema de abastecimento importa compreender este conceito. Numa primeira instância, o conceito de perda ou fuga pode ser definido como todo o volume de água que não é faturado, compreendendo as perdas reais resultantes de volumes não faturados e não consumidos e, as perdas aparentes, com origem em volumes não faturados mas consumidos. Esta última origem, poderá ter como fonte, ligações clandestinas sem contador, contadores com funcionamento anómalo e, ainda, erros na leitura dos contadores (Sousa, 2001; EPA, 2010).

Depreende-se assim, que as perdas de água correspondem a volumes de água não faturados nem utilizados para os usos autorizados, contudo, estes volumes são captados, tratados e transportados em infra-estruturas de elevado valor patrimonial e com elevados custos de operação e manutenção (Alegre *et al.*, 2005).

Voltando o foco de atenção para as perdas reais, segundo a publicação *“Guidelines for water loss reduction”* (GIZ *et al.*, 2011), estas são resultantes de volumes de água perdidos por fugas, rebentamentos ou extravasamento, podendo ser divididas de acordo com a sua localização, tamanho e visibilidade. Relativamente à localização, as fugas podem ser classificadas em fugas nos sistemas de adução, fugas em redes de distribuição até ao utilizador final e, ainda, fugas por extravasamento de reservatórios (GIZ *et al.*, 2011).

As fugas nos sistemas de adução podem ser espoletadas por variadas situações, nomeadamente devido ao rebentamento da conduta por fatores externos ou por corrosão, através das juntas de construção das condutas ou, ainda, através de válvulas com comportamentos anómalos (GIZ *et al.*, 2011; Hamilton & Mckenzie, 2014).

Nos sistemas de distribuição as fugas são mais frequentes, sendo na sua maioria geradas pelas juntas de acoplagem e/ou pelos órgãos acessórios (EPA, 2010).

Num terceiro grupo, designado de fugas por extravasamento ocorridas em reservatórios, as perdas de água têm origem em equipamentos de medição defeituosos e/ou construções não impermeabilizadas (GIZ *et al.*, 2011).

Considerando o tamanho e visibilidade, as fugas podem ser classificadas de acordo com várias categorias, nomeadamente podem ser consideradas superficiais ou visíveis, subterrâneas ou invisíveis e, ainda, fugas originárias das juntas, válvulas e órgãos acessórios (ver Figura 3.1).

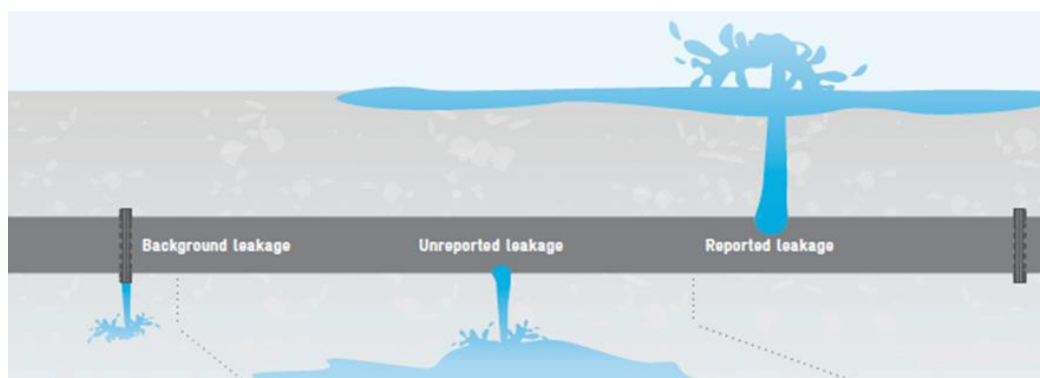


Figura 3.1 – Tipos de fugas – Reported (Visíveis); Underground (Invisíveis); Background (Juntas, Válvulas e Órgãos Acessórios) (GIZ *et al.*, 2011).

As fugas superficiais surgem do rebentamento de condutas, estando dependentes da pressão de operação, da profundidade e das características do solo em que a conduta se encontra consubstanciada. Quanto aos dois últimos tipos de fuga, o que os diferencia é o volume de água perdido por hora (GIZ *et al.*, 2011; Hamilton & McKenzie, 2014).

As perdas aparentes, assumem um papel de elevada importância no quadro económico-financeiro das entidades gestoras dos sistemas de abastecimento de água, uma vez que estas não produzem qualquer retorno económico (Alegre *et al.*, 2005).

Segundo a publicação “*Guidelines for water loss reduction*” (2011), as perdas aparentes verificadas nos sistemas de abastecimento, podem ser agrupadas em três categorias em função da sua origem, nomeadamente, (i) os erros de medição, (ii) erros na leitura dos contadores e, ainda, (iii) consumos não autorizados (GIZ *et al.*, 2011).

As perdas aparentes, originadas por erros de medição dos equipamentos, são os tipos de perda mais usual (GIZ *et al.*, 2011), sendo os mesmos provocados por diferentes fatores, designadamente:

- Erros de medição dos contadores em condições normais de medição;
- Erros de medição por deficiente dimensionamento ou instalação;
- Erros de calibração;

- Erros de medição por deterioração do contador ou por violação do equipamento (Alegre *et al.*, 2005; GIZ *et al.*, 2011).

Relativamente aos erros na leitura dos contadores, a principal origem é a leitura errónea dos valores reportados pelos contadores pelos colaboradores das entidades gestoras, originado desta forma problemas de subcontagem (Alegre *et al.*, 2005).

Quanto ao consumo não autorizado, este contempla o uso de ligações ilícitas, o vandalismo e manipulação dos contadores e, ainda, a utilização indevida de marcos e bocas de incêndio, localizadas em locais públicos e particulares (Alegre *et al.*, 2005; GIZ *et al.*, 2011).

### 3.2 REDUÇÃO E CONTROLO DE PERDAS DE ÁGUA

A água, apresenta-se como um fator essencial para o desenvolvimento socioeconómico, sendo, portanto, um recurso estratégico e estruturante da sociedade. Demonstra-se assim, a necessidade de utilizar a água de uma maneira sustentável, garantindo um uso eficiente dos recursos, garantido a proteção e conservação dos recursos hídricos (PENSAAR, 2015a).

Desta forma, o plano PENSAAR 2020, contempla no ponto “3.2 – Redução das Perdas de Água”, associada ao objetivo operacional do Eixo 3 – “Otimização e Gestão Eficiente dos Recursos”, medidas que visam uma postura proactiva e sustentável das entidades gestoras dos serviços de abastecimento de água na redução das perdas (PENSAAR, 2015a).

A elaboração de um plano de redução das perdas de água sustentável e bem-sucedido, requer um enquadramento político e financeiro, bem como um forte empenho por parte das empresas gestoras (GIZ *et al.*, 2011).

Segundo a publicação “*Guidelines for water loss reduction*” (2011), existem pelo menos dez razões que justificam a importância de despende recursos na elaboração de um plano de gestão de perdas de água eficaz, designadamente:

1. Eficiência dos Custos de Operação – Um sistema de abastecimento bem conservado exige um menor número de reparações e baixos custos de produção;
2. Eficiência dos Custos Capitais – Um sistema de abastecimento bem conservado estende a vida útil dos equipamentos, diminuindo os custos de manutenção e reparação a longo prazo,
3. Melhorias na Medição e faturação – A redução das fugas em conjunto com um sistema bem conservado, permitem uma medição mais precisa dos caudais;
4. Redução dos Riscos de Saúde – Redução da possibilidade de águas contaminadas entrarem, através de fissuras, nos sistemas de abastecimento de água que operam sobre baixa pressão;

5. Incremento na Fiabilidade do Sistema – Um sistema de abastecimento de água bem conservado, com um número reduzido de fissuras ou fugas, aumenta a sua fiabilidade;
6. Redução de Danos nas Infraestruturas – Possibilidade de as fugas destabilizarem os solos nas zonas envolventes, provocando danos às infraestruturas anexas;
7. Redução da sobrecarga nos Sistemas de Drenagem – Redução das infiltrações de água proveniente de fissuras;
8. Satisfação dos Utentes – Um sistema de abastecimento de água bem conservado disponibiliza água de qualidade a pressões adequadas;
9. Imagem da Entidade Gestora – Um sistema de abastecimento de água bem conservado transmite uma imagem positiva da entidade gestora;
10. Redução do Stress Ecológico – Um sistema de abastecimento de água com um funcionamento eficaz e um baixo número de fugas, reduz o impacto ambiental.

Assim, demonstra-se a necessidade de agir de uma forma planeada, estabelecendo ciclos periódicos de atuação de acordo com o problema, definindo de uma maneira clara os objetivos a atingir, a estratégia global a implementar e, a avaliação dos resultados obtidos (Alegre *et al.*, 2005)

O Guia Técnico “Controlo de perdas de água em sistemas públicos de adução e distribuição”, estabelece um modelo (ver Figura 3.2) a adotar para um plano de controlo de perdas, com ênfase nas perdas reais, uma vez que o controlo destas, em termos técnicos, é mais complexo do que o das perdas aparentes. No controlo das perdas aparentes, a estratégia assenta essencialmente na análise do balanço custo-benefício entre o investimento necessário para as reduzir e os benefícios financeiros daí decorrentes (Alegre *et al.*, 2005).

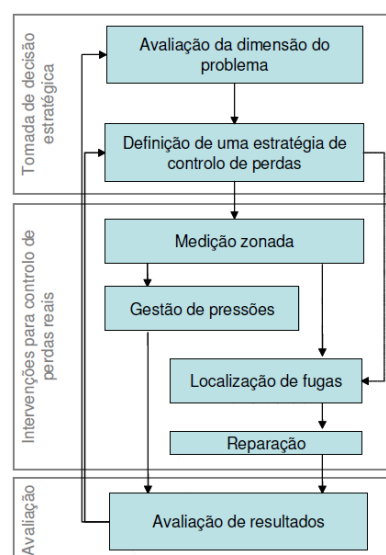


Figura 3.2 – Fases de abordagem para a problemática do controlo das perdas reais (Alegre *et al.*, 2005)

A abordagem efetuada no Guia Técnico, para a problemática do controlo das perdas reais (ver Figura 3.2), contempla três fases, designadamente, (i) Tomada de decisão estratégica, (ii) Intervenções para controlo de perdas reais e, por fim (iii) Avaliação.

A primeira fase, compreende uma avaliação da dimensão do problema, recorrendo para isso à aplicação de balanços hídricos. Dos resultados da avaliação, é estabelecida uma estratégia, a implementar na segunda fase, que deve contemplar duas linhas de ação paralelas, uma relativa às perdas reais e outra relativa às perdas aparentes.

Numa segunda fase, centrada na medição zonada, é avaliada a necessidade de implementar medidas de gestão de pressão e/ou de corrigir perdas reais, inerentes a fugas e/ou roturas na rede.

Por fim, na terceira fase, são avaliados os resultados obtidos através da estratégia definida na primeira fase e aplicada na segunda. De acordo com os resultados obtidos, a estratégia previamente definida poderá ser alvo de ajuste, no sentido de melhorar os resultados finais.

O conjunto das três fases, perfaz um ciclo, que deverá ser repetido com carácter sistemático, de forma a propiciar uma evolução positiva no controlo das perdas. Este ciclo deve ser repetido num período típico de um ano, sendo as atividades da segunda fase prolongadas ao longo de todo o ciclo. Por sua vez, as atividades da primeira e terceira fase apresentam um carácter pontual, estando confinadas ao início e final de cada ciclo.

### 3.3 BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico, de acordo com a *International Water Association* (IWA), corresponde ao método mais usual na análise de todos os componentes de um sistema de abastecimento de água. Este tipo de balanço, normalmente calculado para um período de 12 meses, apresenta como objetivos o controlo e conhecimento dos volumes de água aduzidos, distribuídos e perdidos no sistema de distribuição (Alegre *et al.*, 2005)

Na realização do cálculo de um balanço hídrico são requeridas as estimativas dos volumes de água nas principais entradas e saídas de um sistema típico de abastecimento, desde a captação até ao seu consumo pelo utilizador final. Na Figura 3.3, encontram-se dispostos os principais pontos de controlo necessários para a realização de um balanço hídrico (Alegre *et al.*, 2004)

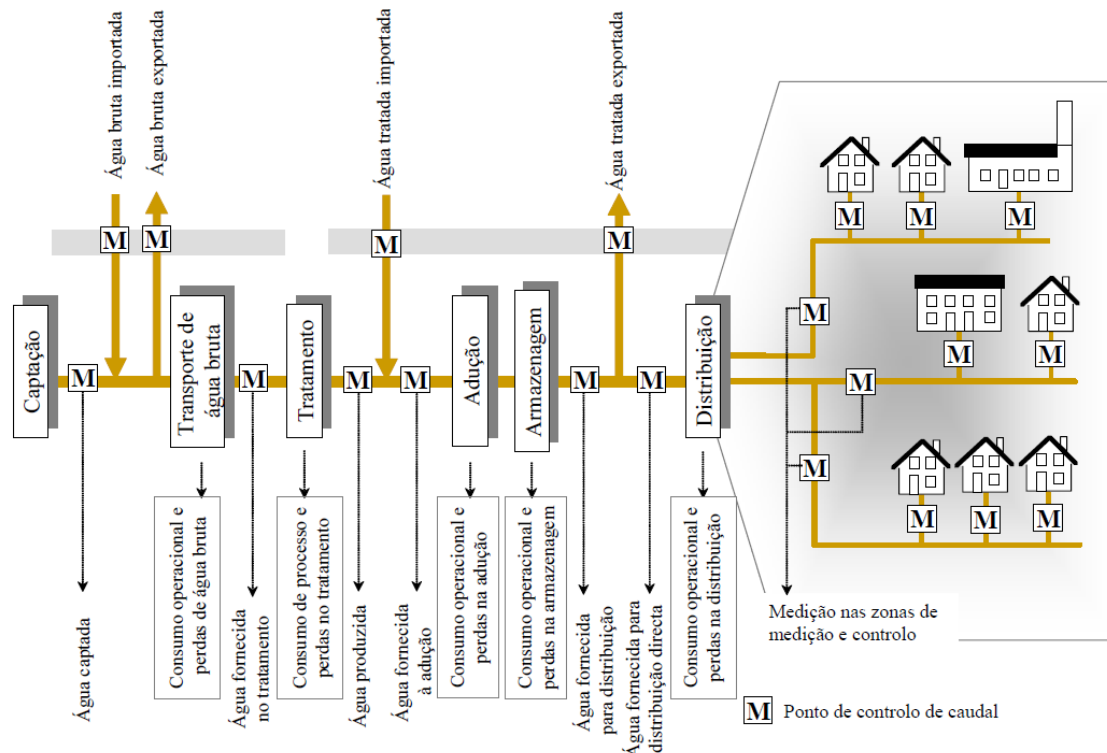


Figura 3.3 – Principais pontos de controlo para realização de um balanço hídrico (Alegre *et al.*, 2004)

Na Figura 3.4, encontra-se representada a forma de cálculo de um balanço hídrico, e a sua respetiva terminologia (Alegre *et al.*, 2004)

Para o cálculo da água não faturada e das perdas de água, é necessário cumprir com um conjunto de passos que serão detalhados de seguida (Alegre *et al.*, 2005):

- Passo 0 - Definir os limites exatos do sistema (ou sector de rede) a auditar; definir as datas de referência (definindo um período de um ano);
- Passo 1 - Determinar o volume de água entrada no sistema e introduzi-lo na Coluna A;
- Passo 2 - Determinar o consumo faturado medido e o consumo faturado não medido e incluir na coluna D; introduzir o total destes como consumo autorizado faturado (Coluna C) e como água faturada (Coluna E);
- Passo 3 - Calcular o volume de água não faturada (Coluna E) subtraindo a água faturada (Coluna E) à água entrada no sistema (Coluna A);
- Passo 4 – Definir o consumo não faturado medido e o consumo não faturado não medido na Coluna D; registar o total em consumo autorizado não faturado na Coluna C;
- Passo 5 – Somar os volumes correspondentes ao consumo autorizado faturado e ao consumo autorizado não faturado da Coluna C; introduzir o resultado como consumo autorizado (Coluna B);

- Passo 6 - Calcular as perdas de água (Coluna B) como a diferença entre a água entrada no sistema (Coluna A) e o consumo autorizado (Coluna B);
- Passo 7 - Avaliar, usando os melhores métodos disponíveis, as parcelas do uso não autorizado e dos erros de medição (Coluna D), somá-las e registrar o resultado em perdas aparentes (Coluna C);
- Passo 8 - Calcular as perdas reais (Coluna C) subtraindo as perdas aparentes (Coluna C) às perdas de água (Coluna C);
- Passo 9 - Avaliar as parcelas das perdas reais (Coluna D) usando os melhores métodos disponíveis (análise de caudais noturnos, dados de medição zonada, cálculos de frequência/caudal/duração das roturas, modelação de perdas baseada em dados locais sobre o nível-base de perdas, etc.), somá-las e comparar com o resultado das perdas reais (Coluna C).

A	B	C	D	E
Água entrada no sistema [m³/ano]	Consumo autorizado [m³/ano]	Consumo autorizado faturado [m³/ano]	Consumo faturado medido [m³/ano]	Água faturada [m³/ano]
			Consumo faturado não medido [m³/ano]	
		Consumo autorizado não faturado [m³/ano]	Consumo não faturado medido [m³/ano]	Água não faturada (perdas comerciais) [m³/ano]
			Consumo não faturado não medido [m³/ano]	
	Perdas de água [m³/ano]	Perdas aparentes [m³/ano]	Uso não autorizado [m³/ano]	
			Perdas de Água por erros de medição [m³/ano]	
		Perdas reais [m³/ano]	Perdas reais nas condutas de água bruta e no tratamento (quando aplicável) [m³/ano]	
			Fugas nas condutas de adução e/ou distribuição [m³/ano]	
			Fugas e extravasamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição [m³/ano]	
			Fugas nos ramais de ligação (a montante do ponto de medição) [m³/ano]	

Figura 3.4 – Componentes do balanço hídrico (Alegre *et al.*, 2005).

### 3.4 ZONAS DE MEDIÇÃO E CONTROLO – “ZMC”

A medição zonada é um instrumento que permite às entidades gestoras dos sistemas de abastecimento de água controlarem os caudais e as perdas no sistema, encontrando-se incluída nas estratégias de controlo ativo das perdas (Alegre *et al.*, 2005; Pereira, 2012). Este controlo, apenas se torna possível através da divisão da rede de distribuição num conjunto de contornos fixos e rigorosamente identificados (ver Figura 3.5) (SIGA, 2014).

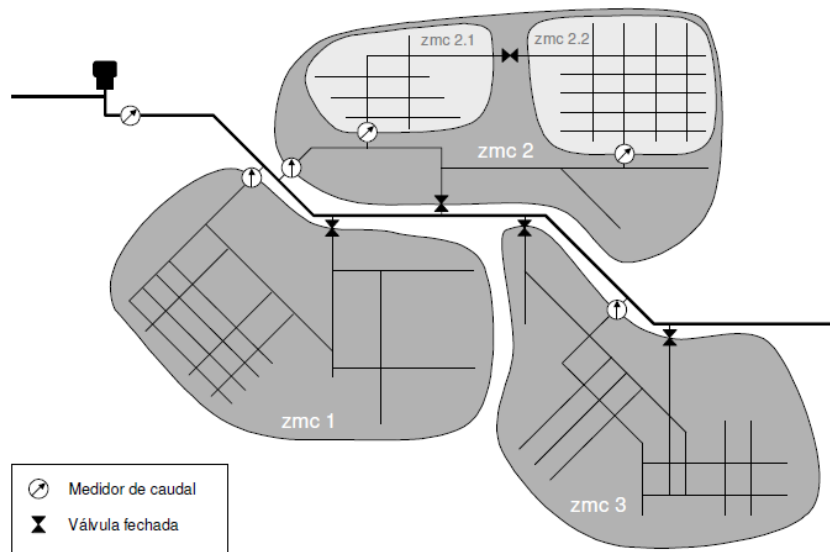


Figura 3.5 –Exemplo de 3 “ZMC’s” (Alegre *et al.*, 2005).

Deste modo, realizando um balanço entre os volumes de entrada e saída em cada zona, é possível aferir comportamentos de consumos para cada zona. A estas divisões, dá-se o nome de Zonas de Medição e Controlo (ZMC) (Pereira, 2012; SIGA, 2014).

A dimensão das zonas de medição e controlo, e o tipo de equipamento adotado variam em função da situação, existindo a possibilidade de a monitorização ser temporária ou permanente.

No que concerne a dimensão de uma zona de medição e controlo, esta encontra-se dependente de condicionalismos locais, com destaque para a tipologia da rede, a densidade populacional e a densidade de ramais. Estes fatores, têm impacto no número de pontos de entrada de caudal, contudo, por razões de ordem económica e de simplicidade de operação procura-se utilizar uma configuração de válvulas que permita reduzir o número de equipamentos ao mínimo imprescindível (Alegre *et al.*, 2005).

Numa medição zona, são utilizadas duas metodologias distintas baseadas no balanço hídrico, (i) método dos caudais totais, e no comportamento dos caudais noturnos, (ii) método dos caudais noturnos, para quantificar as perdas nas redes de distribuição (Alegre *et al.*, 2005).



O primeiro método implica um balanço hídrico em cada zona de medição, contabilizando os volumes de entrada e saída, e uma estimativa do consumo. Da aplicação do balanço, resulta um volume de perdas no período em análise, constituído por perdas aparentes e perdas reais (Alegre *et al.*, 2005; SIGA, 2014).

O método dos caudais noturnos, baseia-se na observação do comportamento do caudal durante as horas de menor consumo, uma vez que, nessas horas é legítimo assumir que parte significativa do caudal total escoado corresponde a perdas reais (Alegre *et al.*, 2005; SIGA, 2014).

Os dois métodos apresentam utilidades distintas e complementares. O método baseado no balanço hídrico é mais vantajoso na identificação de prioridades de intervenção entre zonas de medição, por sua vez, o método dos caudais noturnos é evidentemente mais adequado no âmbito da monitorização contínua ou de campanhas de curta duração, sendo o que apresenta uma utilização mais comum (Alegre *et al.*, 2005).

### 3.5 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

A correta medição de caudal nos sistemas de abastecimento de água é objeto de grande relevância. O cumprimento dos objetivos de gestão e exploração de um sistema de abastecimento de água dependem do correto funcionamento dos equipamentos de medição, uma vez que só assim será possível prestar um serviço de elevada qualidade aos utilizadores e, simultaneamente, colocar a empresa concessionária do sistema numa situação financeira consistente (Henrique *et al.*, 2007).

Um sistema de abastecimento de água munido dos recursos adequados à medição de caudal, revela-se imprescindível para a exploração e controlo operacional do sistema de abastecimento. A disponibilidade destes recursos, permite ainda, aplicar metodologias de avaliação de perdas de água, bem como, aferir consumos de água não contabilizados ao longo do sistema, conhecidos como perdas aparentes. Os equipamentos de medição são ainda indispensáveis para a quantificação de diversos indicadores de desempenho de acordo com a regulação do IRAR (Henrique *et al.*, 2007).

A disposição dos equipamentos de medição, num sistema de abastecimento de água, obedece a disposições legais que, de uma forma explícita ou implícita, determinam onde se devem realizar as medições de caudal ou volume, nomeadamente (Henrique *et al.*, 2007):

- Artigo 51.º – “Instalação dos medidores” do Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (1995), adiante designado abreviadamente por Regulamento Geral (1995), de acordo com o qual os caudalímetros devem ser instalados:
  - em locais devidamente protegidos, acessíveis e que possibilitem leituras corretas;

- nos ramais de introdução predial de todos os utilizadores finais;
  - na conduta de saída de cada reservatório;
  - na conduta de saída de cada estação elevatória;
  - noutros locais criteriosamente escolhidos, que permitam melhorar o controlo operacional do sistema;
- Artigo 22.º – “Conteúdo do título de captação” do Decreto-Lei n.º 46/94, de 22 de fevereiro, que estabelece, na sua alínea g), a obrigatoriedade de instalação de um caudalímetro (com função de contagem) na captação;
  - Artigo 9.º – “Volume de água captada” do Decreto-Lei n.º 47/94, de 22 de fevereiro, de cujo n.º 3 decorre a indispensabilidade de instalação de um caudalímetro (com função de contagem) na captação, caso a licença ou concessão de utilização do domínio hídrico de que o sistema seja titular estabeleça a obrigatoriedade de medição direta do volume de água captada.

Os medidores de nível apresentam-se como um outro equipamento de medição imprescindível à exploração e controlo operacional de um sistema de abastecimento de água, dado que estes monitorizam em contínuo os níveis de armazenamento de água nos reservatórios ao longo do sistema, permitindo assim realizar uma gestão mais eficiente dos recursos.

Dada a importância dos equipamentos de medição, nomeadamente dos medidores de caudal e de nível, para um funcionamento eficaz de um sistema de abastecimento de água, os mesmos serão alvo de análise nas secções seguintes.

### 3.5.1 Caudalímetros

Os medidores de caudal, também designados por caudalímetros, são equipamentos de medição utilizados na determinação do caudal em condutas fechadas para fluidos eletricamente condutivos, como é o caso da água própria para consumo humano (Henrique *et al.*, 2007).

Os caudalímetros utilizados em sistemas de abastecimento de água podem ser classificados de acordo com o princípio de funcionamento, os que trabalham sob princípio do deslocamento positivo e os que operam sob o princípio da velocidade do fluxo de água. Genericamente, os caudalímetros podem ser divididos em cinco categorias, seguindo o princípio de funcionamento, designadamente (EPA, 2010):

- Caudalímetros de Velocidade;
- Caudalímetros de Deslocamento Positivo;
- Caudalímetros Compostos;

- Caudalímetros Proporcionais;
- Caudalímetros de Canal Aberto.

Os Caudalímetros de Velocidade têm por base a medição da velocidade da água que atravessa uma secção transversal conhecida, permitindo aferir um caudal. Este caudal, pode ainda ser multiplicado por um período de tempo, sendo obtido desta forma o volume de água que passa pelo medidor naquele período de tempo. Este tipo de medidores são os mais utilizados nos sistemas de abastecimento de água, uma vez que, permitem o apuramento de grandes volumes verificados nos sistemas de abastecimento em alta (EPA, 2010).

Estes caudalímetros podem ser subdivididos de acordo com a metodologia utilizada para a obtenção da velocidade da água, nomeadamente (EPA, 2010):

- Hélice, Turbina, Pás ou Multijato;
- Ultrassónicos;
- Eletromagnéticos;
- Pressão Diferencial ou Deprimogéneos;

De acordo com o IRAR, os caudalímetros ultrassónicos, eletromagnéticos e os deprimogéneos são os mais usuais nos sistemas de abastecimento de água em escoamentos sobre pressão (Henrique *et al.*, 2007). De seguida serão analisados pormenorizadamente os caudalímetros eletromagnéticos e os ultrassónicos, visto ocuparem uma percentagem substancial dos caudalímetros presentes no sistema de adução da Águas do Norte, SA.

#### **3.5.1.1 Caudalímetros eletromagnéticos**

Os caudalímetros eletromagnéticos, fundamentam-se no princípio que um fluido eletricamente condutivo, quando exposto a um campo magnético gera uma corrente proporcional à velocidade da água, sendo posteriormente convertido num caudal (EPA, 2010).

Assim, para determinar o caudal, os caudalímetros eletromagnéticos são constituídos por duas componentes, designadamente (Henrique *et al.*, 2007):

- (i) elemento primário, também designado de transdutor de caudal;
- (ii) elemento secundário, também designado de condicionador de sinal.

A principal função do elemento primário é a de gerar um campo magnético, através do qual se esco o líquido, com propriedades condutoras elétricas, que se pretendem medir. Este elemento possui um par de elétrodos em contacto com o líquido, entre os quais, surge uma diferença de potencial elétrico, induzida proporcionalmente à velocidade média do escoamento.

Por sua vez, o elemento secundário, controla a excitação do primário, ou seja, controla a geração do campo magnético, extraíndo o sinal de tensão induzido nos elétrodos, amplificando-o e processando-o por forma a converter o sinal de tensão induzido num sinal de saída normalizado, proporcional ao caudal.

Os caudalímetros eletromagnéticos podem ser divididos em dois tipos, tubular ou de inserção, de acordo com o tipo de primário que utilizam. Na Figura 3.6 encontra-se uma representação esquemática dos dois tipos.

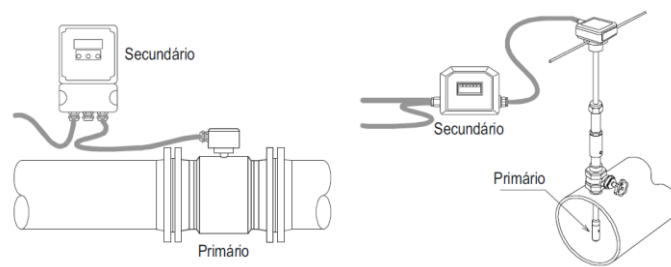


Figura 3.6 – Representação dos caudalímetros eletromagnéticos tubulares, à esquerda de inserção, à direita (Henrique *et al.*, 2007).

Um caudalímetro eletromagnético, com um elemento primário tubular, é constituído por (Henrique *et al.*, 2007):

- Um tubo de medição, um tubo cilíndrico de material não magnético;
- Um eletromagneto (b1 e b2), responsável por gerar o campo magnético perpendicular ao eixo do tubo de medição;
- Um par de elétrodos (e1 e e2), que captam a diferença de potencial induzida, montados no tubo de medição em posições diametralmente opostas, emergindo à superfície interna deste e, com o eixo perpendicular à direção do campo magnético.

Por sua vez, um caudalímetro eletromagnético com um elemento primário de inserção é materializado por uma sonda, que contém na sua extremidade o eletromagneto (b), gerador do campo magnético, e o par de elétrodos (e1 e e2) (Henrique *et al.*, 2007). Na Figura 3.7, é possível observar os dois tipos de primários empregues nos caudalímetros eletromagnéticos.

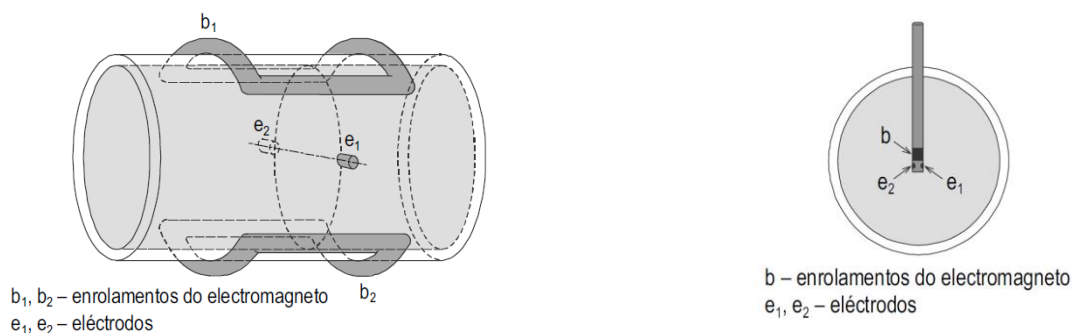


Figura 3.7 – Posicionamento do primário nos caudalímetros tubulares, à esquerda, e inserção, à direita (Henrique *et al.*, 2007).

Um outro fator diferenciador do tipo de primários utilizados nos caudalímetros eletromagnéticos é a determinação da tensão induzida nos eléctrodos. Num primário tubular, a tensão induzida é proporcional à velocidade média do escoamento, enquanto que, num primário de inserção, é utilizada a velocidade média local, na proximidade dos eléctrodos para determinação da tensão induzida nos eléctrodos (Henrique *et al.*, 2007).

Direcionando a análise para o elemento secundário, ou condicionador de sinal, este desempenha funções análogas nos dois tipos de caudalímetros eletromagnéticos. As funções desempenhadas por este elemento são (Henrique *et al.*, 2007):

- Gerar um campo magnético no primário, com a evolução adequada, através de uma regulação apurada da intensidade da corrente de excitação;
- Ampliar e processar o sinal proveniente dos eléctrodos, de modo a produzir um sinal proporcional ao caudal.

Na comparação entre os dois tipos de caudalímetros, é possível aferir que os caudalímetros com um primário tubular apresentam uma exatidão superior à dos caudalímetros de inserção. A exatidão do caudalímetro de inserção depende sobretudo do rigor com que a sonda é posicionada (Henrique *et al.*, 2007).

A exatidão dos valores apurados pelos caudalímetros é ainda afetada pela incerteza ou erro do equipamento. Esta incerteza ou erro consiste numa diferença entre o valor medido e o valor aceite como verdadeiro para uma determinada medição. Assim, na Tabela 3.1, encontram-se os valores de incerteza de medição padrão, associados a cada tipo de caudalímetro eletromagnético (Henrique *et al.*, 2007).

Tabela 3.1 – Valores de incerteza padrão para caudalímetros eletromagnéticos  
(Henrique *et al.*, 2007).

Tipo de caudalímetro electromagnético	Modo de excitação do primário	Incerteza de medição padrão (%)
Tubular	Tensão alternada compensada	$\pm 0,5$ a $\pm 1$
	Corrente pulsatória regulada de baixa frequência	$\pm 0,2$ a $\pm 0,4$
De inserção	Corrente pulsatória regulada	$\pm 2$ a $\pm 4$

O LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil), identifica três origens para a incerteza na medição de caudal utilizando caudalímetros eletromagnéticos. Estas origens compreendem as condições hidráulicas e de instalação do elemento primário, as condições eletrotécnicas e, as condições metrológicas (LNEC, 2008).

Na Figura 3.8, encontram-se esquematizadas as fontes de incerteza distribuídas pelos diversos elementos que compõem o sistema de medição associado a um caudalímetro eletromagnético (LNEC, 2008).

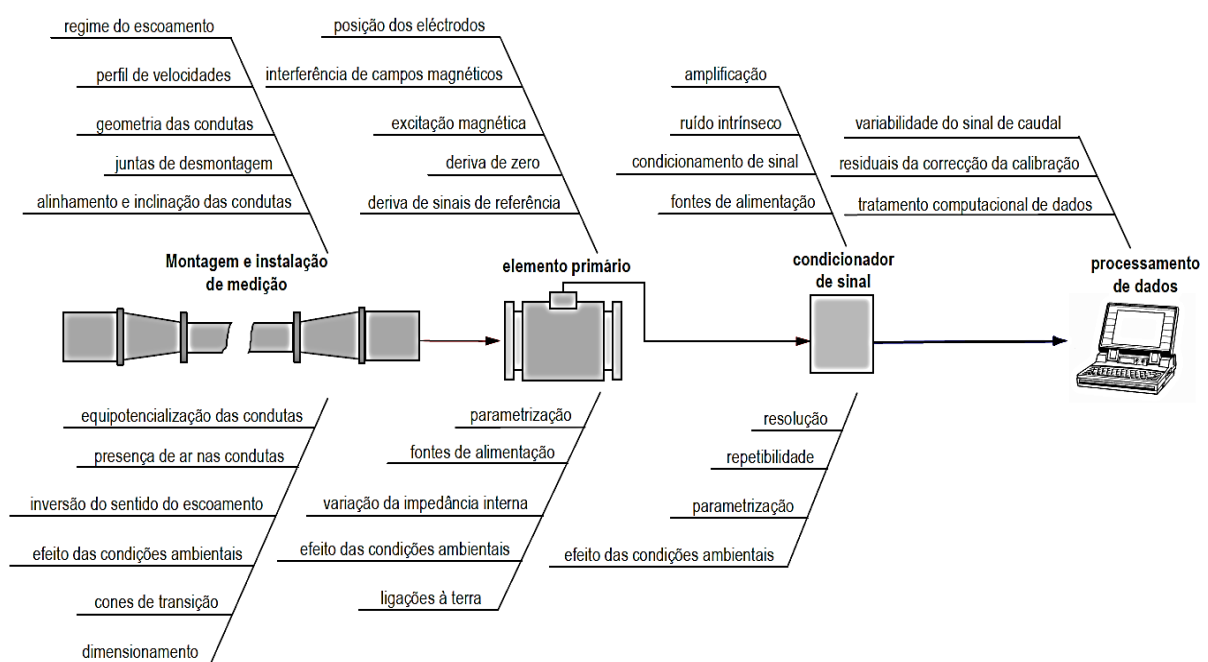


Figura 3.8 – Representação de componentes de incerteza num sistema de medição de caudal usando um caudalímetro eletromagnético (LNEC, 2008).

### 3.5.1.2 Caudalímetros ultrassónicos

Os caudalímetros ultrassónicos, também designados de caudalímetros acústicos, funcionam com o recurso a ondas ultrassónicas, com frequências superiores a 20kHz (Henrique *et al.*, 2007). Estas ondas

são emitidas num ângulo diagonal à conduta por onde se escoia o fluido. Com o escoamento do fluido a frequência da onda emitida altera-se, sendo possível determinar a velocidade do fluido, visto que o deslocamento é proporcional à velocidade da água.

Desta forma, sabendo a velocidade do escoamento e secção transversal da conduta, é possível aferir o caudal que se escoia naquela secção por unidade de tempo (EPA, 2010):

De uma forma genérica, estes caudalímetros (ver Figura 3.9) compõem-se por (Henrique *et al.*, 2007):

- Um par de transdutores ultrassónicos idênticos, orientados em oposição, alinhados e em contacto com o líquido, utilizando elementos piezoelétricos que funcionam, simultaneamente, como emissores e recetores de ondas ultrassónicas;
- Um tubo de medição, designado de primário, onde são montados os transdutores ultrassónicos num plano longitudinal e inclinado face ao eixo do tubo de medição;
- Um condicionador de sinal, designado de secundário, que para além de excitar o elemento piezométrico do emissor, é responsável pelo processamento digital dos sinais, convertendo-os em sinais de saída normalizados proporcionais à velocidade média do escoamento e, posteriormente, do caudal.

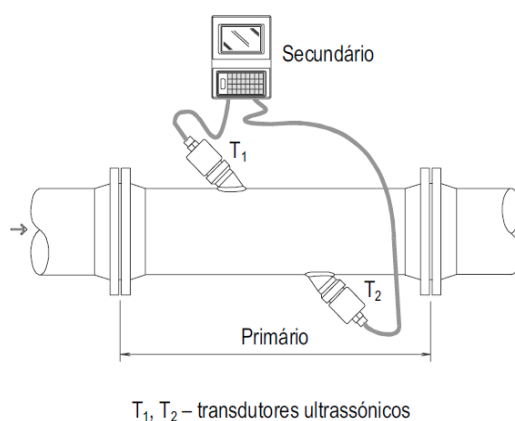


Figura 3.9 – Exemplo de um caudalímetro ultrassónico (Henrique *et al.*, 2007).

Os caudalímetros ultrassónicos podem ser divididos em dois grupos, de acordo com o seu funcionamento, nomeadamente, os caudalímetros ultrassónicos de tempo de trânsito e os caudalímetros ultrassónicos de Doppler (EPA, 2010).

Os caudalímetros ultrassónicos de Doppler, necessitam de concentrações de discontinuidades acústicas como partículas suspensas ou bolhas de ar no fluído para realizar a medição, sendo estas condições que não se verificam com facilidade nos sistemas de abastecimento de água, assim sendo, estes não serão analisados com mais detalhe (EPA, 2010).

No que diz respeito aos caudalímetros ultrassónicos de tempo de trânsito, têm como premissa a diferença de tempo de propagação, isto é, a duração temporal registada entre o transdutor emissor e o transdutor recetor, apresentando-se os mesmos sob três formas (Henrique *et al.*, 2007):

- Trajeto único e transmissão direta;
- Trajeto único e transmissão por reflexão;
- Com transdutores sobre a conduta.

Os caudalímetros de trajeto únicos e transmissão direta (ver Figura 3.10), possuem um par de transdutores localizados em sentido oposto, realizando uma transmissão direta entre os dois. Por sua vez, os caudalímetros de trajeto único e transmissão por reflexão compreendem dois transdutores instalados do mesmo lado do tubo de medição (ver Figura 3.11), permitindo desta forma duplicar o comprimento de interpelação e reduzir a incerteza da medição face à medição através de transmissão direta. Em ambos os, os transdutores encontram-se em contacto direto com o fluido que pretendem avaliar (Henrique *et al.*, 2007):

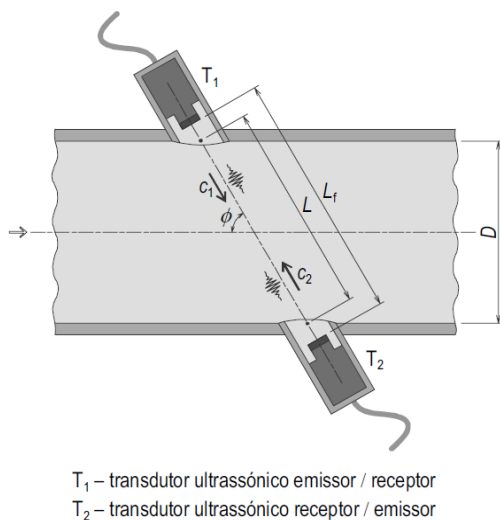


Figura 3.10 – Exemplo de um caudalímetro ultrassónico de trajeto único e transmissão direta (Henrique *et al.*, 2007).

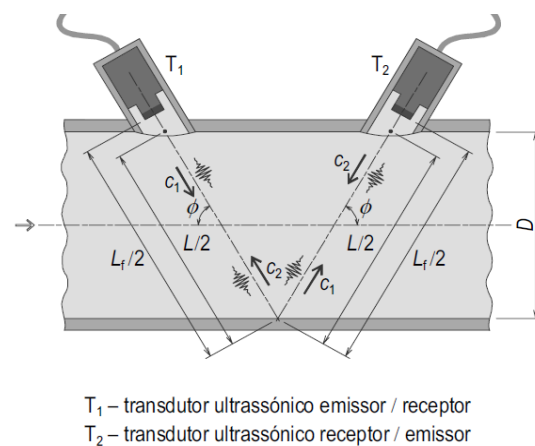


Figura 3.11 – Exemplo de um caudalímetro ultrassónico de trajeto único e transmissão por reflexão (Henrique *et al.*, 2007).

As configurações dos caudalímetros mencionados divergem na configuração dos transdutores, apesar disso, o método de cálculo do caudal permanece o mesmo (Henrique *et al.*, 2007).

No que se refere aos caudalímetros ultrassónicos com transdutores sobre a conduta (ver Figura 3.12), estes divergem dos anteriores no que respeita à localização dos transdutores. Neste tipo de caudalímetro, os transdutores não estão em contacto direto com o fluido, encontrando-se na superfície exterior da



conduta na zona média da superfície lateral. A utilização de caudalímetros ultrassónicos com transdutores sobre a conduta, carece do conhecimento de dados referentes ao fluido, como tipo de fluido e temperatura, bem como de dados referentes à conduta de instalação, como material, revestimentos, diâmetro interior e espessura das paredes da conduta, uma vez que, os parâmetros de montagem divergem para cada caso (Henrique *et al.*, 2007).

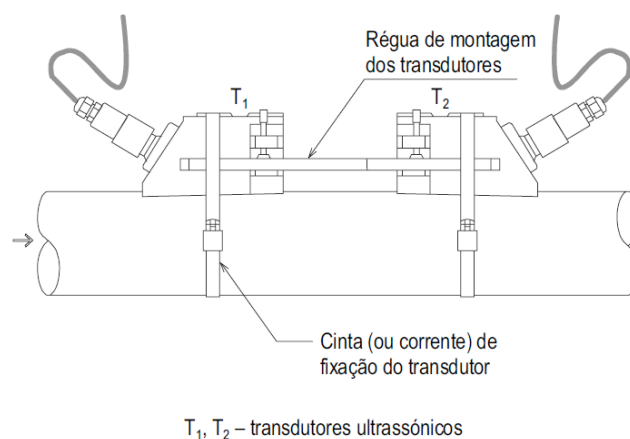


Figura 3.12 – Exemplo de um caudalímetro ultrassónico com transdutores sobre a conduta (Henrique *et al.*, 2007).

Na Tabela 3.2, encontram-se os valores típicos da incerteza da medição padrão, associados a cada tipo de caudalímetro ultrassónico (EPA, 2010).

Tabela 3.2 – Valores de incerteza padrão para caudalímetros ultrassónicos (Henrique *et al.*, 2007).

Tipo de caudalímetro ultrassónico	Modo de transmissão das ondas ultrassónicas	Incerteza de medição padrão (%)	
		Relativa ao valor medido	Relativa ao fim-de-escala
De tempo de trânsito, tubular, com um par de transdutores	Directa	$\pm 1,5$	–
	Reflexão na superfície interior do tubo de medição	$\pm 1$ a $\pm 1,5$	–
De tempo de trânsito, tubular, com dois pares de transdutores	Directa	$\pm 0,7$ a $\pm 1$	–
	Reflexão na superfície interior do tubo de medição	$\pm 0,5$ a $\pm 1$	–
De tempo de trânsito, com um par de transdutores sobre a conduta	Directa	$\pm 2$ a $\pm 5$	–
	Reflexão na superfície interior da conduta de instalação	$\pm 1,5$ a $\pm 2$	–
Doppler, com um transdutor sobre a conduta	Reflexão em descontinuidades acústicas existentes no escoamento	–	$\pm 1$ a $\pm 5$

### 3.5.2 Disposições de Instalação dos Equipamentos de Medição

O correto funcionamento dos equipamentos de medição está diretamente relacionado com as suas condições de instalação, ou seja, os caudalímetros necessitam de ser instalados de acordo com os requisitos técnicos especificados pelos fabricantes para que sejam garantidas medições com um elevado grau de fiabilidade.

Deste modo, o IRAR em parceria com o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), estabeleceu um conjunto de disposições, expressas no Guia Técnico *“Medição de caudal em sistemas de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais urbanas”* (2007), para que visam assegurar a correta instalação dos equipamentos de medição em sistemas de abastecimento de água.

Uma primeira disposição, relativa à instalação de caudalímetros eletromagnéticos do tipo tubular, prende-se com o facto de as leituras efetuados por este tipo de equipamento serem suscetíveis a erros de medição derivado da presença de ar ou outro gás no líquido no tubo de medição (Henrique *et al.*, 2007).

Assim, de forma a evitar a presença de gases no tudo de medição, o Guia Técnico, define alguns exemplos para a instalação do primário dos caudalímetros eletromagnéticos (ver Figura 3.13) (EPA, 2010).

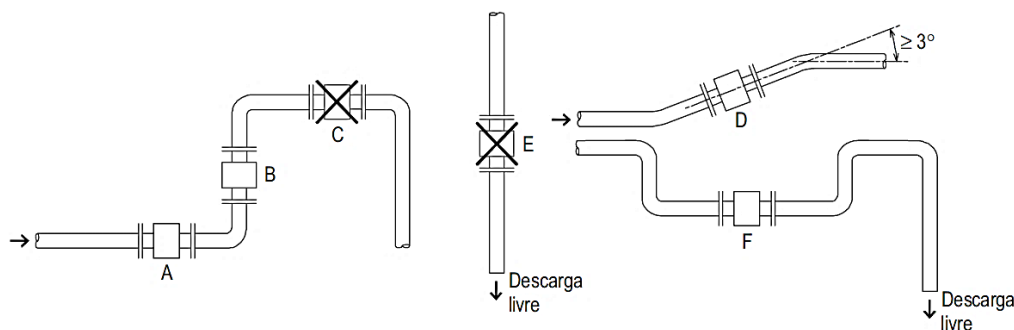


Figura 3.13 – Exemplos de instalação do primário de caudalímetros eletromagnéticos (Henrique *et al.*, 2007).

O Guia Técnico define como melhor orientação da conduta para a instalação do equipamento de medição a situação representada na Figura 4.12 com a letra “B”, ou seja, uma conduta vertical com um sentido de escoamento do fluído na vertical. Nas situações em que a instalação do primeiro do caudalímetro na orientação vertical não seja possível, é aceitável que este se situe numa conduta com sentido ascendente (caso “D” da Figura 3.13), desde que a conduta apresente um ângulo igual ou superior a  $3^\circ$ . É ainda aceitável a instalação do primário do caudalímetro numa conduta na horizontal, desde que o primário se localize a uma cota inferior à cota da conduta principal, como se exemplifica nos casos “A” e “F” da Figura 3.13.

A instalação do primário do caudalímetro nas condições “C” e “E” da Figura 3.13 devem ser evitadas, uma vez que, no caso C, existe uma maior propensão a acumulação de gás na zona do primário, e, na situação “E”, porque as condutas, bem como o primário, podem não se encontrar completamente preenchidos (EPA, 2010).

O perfil de velocidades do escoamento na conduta da instalação, constitui uma segunda disposição expressa no Guia Técnico. Esta disposição contempla que o escoamento na conduta de instalação do primário deverá apresentar um regime uniforme turbulento, completamente desenvolvido a montante e jusante do primário, não sendo perturbado por componentes ou singularidades que possam afetar o desempenho metrológico do caudalímetro.

Assim, por forma cumprir este requisito, os primários devem ser instalados em tramos de conduta retos, respeitando os valores mínimos definidos, como o comprimento reto da conduta.

Na Figura 3.14, encontram-se especificados os comprimentos mínimos absolutos a verificar a montante ( $L_m$ ) e a jusante ( $L_j$ ) do primário do caudalímetro, sendo que estes valores não devem ser inferiores aos especificados pelos fabricantes dos equipamentos.

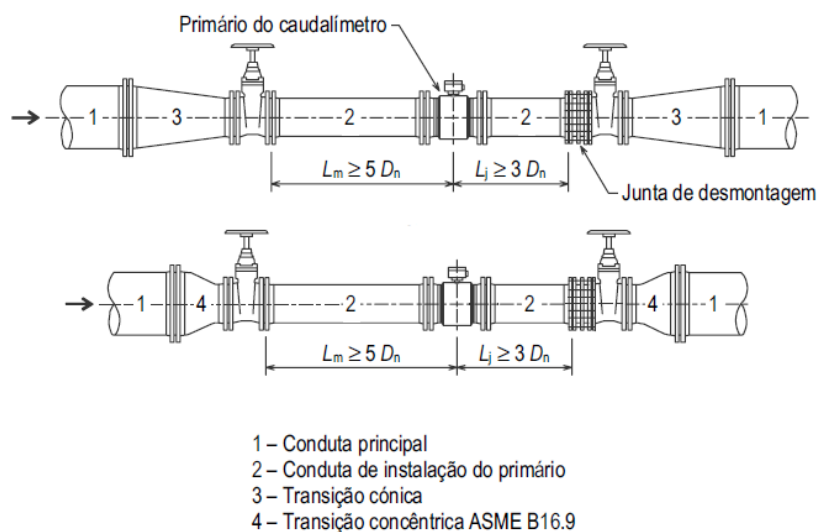


Figura 3.14 – Comprimentos mínimos a verificar para a instalação do primário do caudalímetro (Henrique *et al.*, 2007).

Como é possível observar pela Figura 3.14, os comprimentos retos de conduta a montante ( $L_m$ ) e a jusante ( $L_j$ ), medidos a partir do plano dos eletrodos, não devem ser inferiores, respetivamente, a  $5D_n$  e  $3D_n$ , sendo  $D_n$  o diâmetro nominal da conduta de instalação do primário (ver ponto 2 da Figura 3.14).

No que diz respeito aos caudalímetros eletromagnéticos de inserção, estes devem ser instalados de acordo com as disposições referidas na Figura 3.13, contudo, os comprimentos mínimos absolutos a verificar para os componentes ou singularidades, que possam afetar o desempenho metrológico do equipamento, variam de acordo com a posição do primário.

O primário, constituído pelo par de eléctrodos, pode ser posicionado de duas formas, no centro da conduta de medição (a) ou a  $D/8$  (b), como se pode verificar pela Figura 3.15:

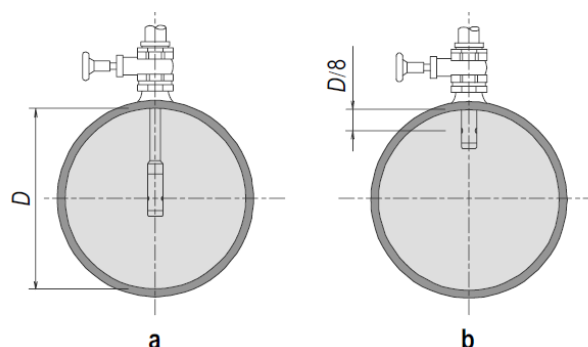


Figura 3.15 – Disposições para o posicionamento do par de eléctrodos de um caudalímetro de inserção (Henrique *et al.*, 2007).

Uma vez determinada a posição do primário, os comprimentos mínimos retos a adotar para montante ( $L_m$ ) são dados em função da posição do primário, de acordo com a Tabela 3.3:

Tabela 3.3 – Comprimentos mínimos a assegurar a montante do primário para a montagem de um caudalímetro de inserção (Henrique *et al.*, 2007).

Posição do primário na secção de medição	$L_m$
“Par de eléctrodos centrado”	$\geq 30 D_n$
“Par de eléctrodos em $D/8$ ”	$\geq 10 D_n$

No que diz respeito ao comprimento mínimo reto a jusante do primário,  $L_j$ , como se pode verificar na Figura 3.16, é utilizado como valor mínimo um comprimento de 5 vezes o diâmetro nominal do tubo de medição, medido a partir do primário do equipamento.

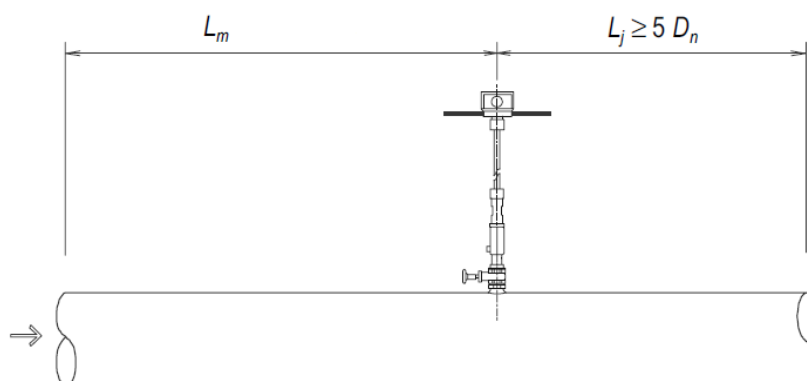


Figura 3.16 – Comprimento mínimo a assegurar a jusante do primário (Henrique *et al.*, 2007).

As disposições de instalação, Figura 3.13, aplicadas aos caudalímetros eletromagnéticos são ainda válidas para a instalação do primário dos caudalímetros ultrassónicos. Para este tipo de caudalímetros, devem

ser garantidos comprimentos mínimos retos de  $10D_n$  e  $5D_n$ , a montante e jusante do primário ou dos transdutores sobre a conduta respetivamente.

### 3.5.3 Medidores de Nível

Os medidores de nível utilizados nos sistemas de abastecimento de água têm como propósito assegurar a segurança, e a sustentabilidade dos processos. Para isto, é essencial que os equipamentos registem medições de nível precisas e fiáveis, de forma a que a gestão dos volumes de água se processe de uma forma eficiente e sustentável (Emerson, 2013).

O fundamento básico por detrás das medições de nível consiste na determinação da posição da superfície livre dentro do reservatório. Isto é, as medições de nível consistem na determinação da distância linear vertical entre um ponto de referência, usualmente o fundo do reservatório, e a superfície livre da água (Emerson, 2013).

Os medidores de nível ultrassónicos e hidrostáticos são os mais utilizados nos sistemas de abastecimento de água, sendo efetuada uma análise pormenorizada a cada um destes medidores.

#### 3.5.3.1 Medidor de Nível Ultrassónico

Os medidores de nível ultrassónico, instalados no topo dos reservatórios, caracterizam-se por efetuarem as medições, para que foram programados, sem entrar em contacto com o fluido que pretendem medir (ver Figura 3.17). Estes recorrem a ondas ultrassónicas com frequências compreendidas entre os 20 e os 200kHz para que se proceda às medições.

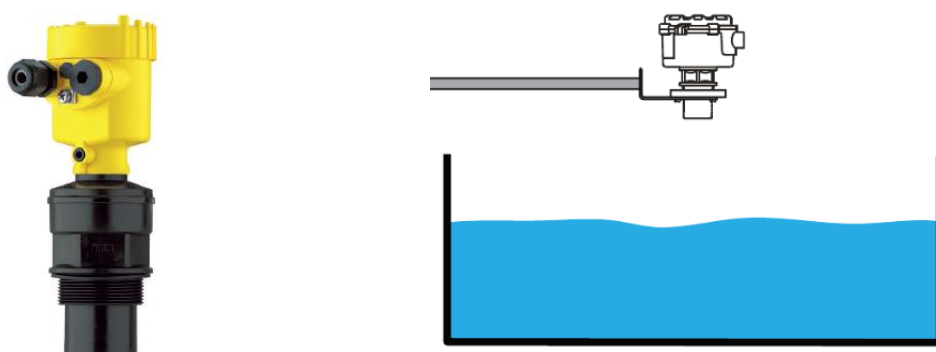


Figura 3.17 – Exemplo de medidor de nível ultrassónico, à esquerda, e da sua aplicação, à direita (Emerson, 2013); Vega, 2016).

Após a definição, no equipamento de medição, do ponto de referência de base do reservatório, a sua cota mais baixa, este pode determinar a altura de água presente no reservatório. Para tal, o equipamento de medição determina quanto tempo um sinal ultrassónico demora a ser refletido pela superfície da água e,

posteriormente converte esse tempo numa distância linear vertical, de acordo com a expressão (Emerson, 2013):

$$h = (c \times t) / 2$$

onde:

$h$  — é a distância linear vertical à superfície da água;

$c$  — é a velocidade do som;

$t$  — é o tempo decorrido entre a emissão e receção do sinal pelo medidor.

Este tipo de medidor apresenta como principais vantagens a possibilidade de ser instalado em reservatórios vazios ou cheios, a sua fácil manutenção visto se tratar de um equipamento que não se encontra em contacto com a água, nem possui partes móveis pelo que quase não necessitam de manutenção. No que concerne às limitações de leitura do equipamento, estas compreendem a turbulência e/ou espuma na superfície de medição, que afetam o tempo de transmissão do sinal, obstruções no caminho de transmissão do sinal (Emerson, 2013).

Este tipo de equipamento usualmente apresenta uma precisão de 0,25%.

### 3.5.3.2 Medidor de Nível Hidrostático

Os medidores de nível hidrostáticos, por oposição aos medidores de nível ultrassónicos, são instalados na base dos reservatórios, estando em contacto permanente com o fluido que pretendem medir (ver Figura 3.18). Este tipo de medidor fundamenta-se na pressão hidrostática, medida por sensores de pressão, gerada pela água acima do medidor para determinar a altura de água no reservatório (WIKA, 2016).

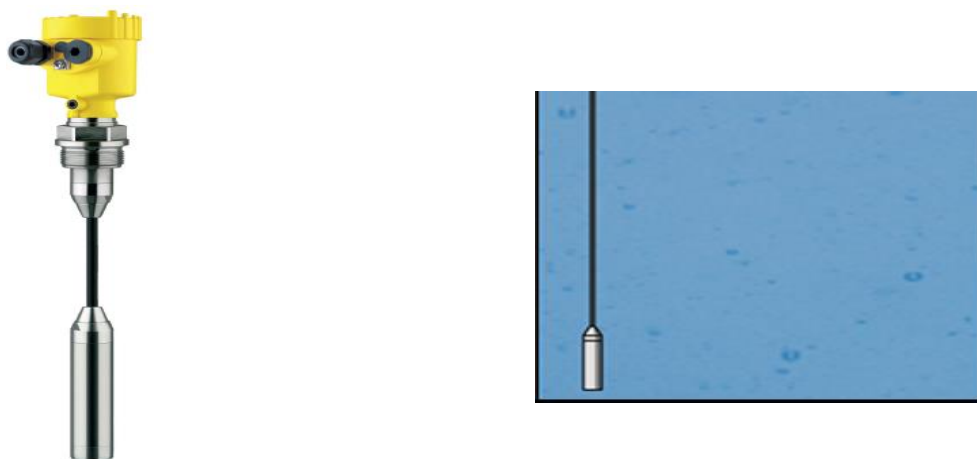


Figura 3.18 — Exemplo de um medidor de nível hidrostático, à esquerda, e da sua aplicação, à direita (Vega, 2016; Wika, 2016).

Desta forma, a altura de água pode ser determinada de acordo com a expressão (WIKA, 2016):

$$h = p / (\rho \times g) \quad (3.2)$$

onde:

$h$  — é a altura da água em metros;

$p$  — é a pressão hidrostática em bar;

$\rho$  — é a densidade da água em  $\text{kg/m}^3$ ;

$g$  — é aceleração da gravidade em  $\text{m/s}^2$ .

De uma forma simplificada, considerando  $10\text{m/s}^2$  como o valor da aceleração gravítica e,  $1.000\text{kg/m}^3$  como a densidade da água, a pressão de 1 bar medido no sensor corresponde a uma altura de água de 10 metros (WIKA, 2016).

Os medidores de nível hidrostáticos apresentam-se no mercado como sendo uma tecnologia de excelência na medição de níveis em reservatórios, uma vez que apresentam uma maior tolerância às turbulências e, não são afetados pela espuma. Estes apenas apresentam como fragilidade o facto de a acumulação de sedimentos no sensor de pressão causar possíveis enviesamentos nas leituras, contudo isto apenas se poderá verificar com a secagem dos sedimentos (WIKA, 2016).

Regra geral, este tipo de equipamento evidencia uma incerteza de 0,1%.

### 3.6 AVALIAÇÃO DA INCERTEZA DOS RESULTADOS

A exatidão dos valores apurados pelos caudalímetros é afetada pela incerteza ou erro do equipamento. Esta incerteza ou erro consiste numa diferença entre o valor medido e o valor aceite como verdadeiro para uma determinada medição (Henrique *et al.*, 2007).

Para o cálculo do balanço hídrico, bem como na determinação dos indicadores de desempenho de um sistema de abastecimento de água, são efetuadas operações algébricas simples entre as diversas variáveis em causa (Alegre *et al.*, 2005).

Dado que cada variável apresenta uma incerteza, esta estende-se aos resultados finais, estando a propagação dependente das operações realizadas para a obtenção do resultado final (Alegre *et al.*, 2005).

### 3.6.1 Caso da Soma e da Subtração

Numa soma ou subtração, o erro absoluto do resultado é igual à soma geométrica dos erros absolutos das parcelas. Exemplificando:

$$C = A \pm B \quad (3.3)$$

onde:

$C$  — é o resultado da soma ou diferença das variáveis;

$A$  — é o resultado da variável  $A$ ;

$B$  — é o resultado da variável  $B$ .

Considerando a hipótese simplificativa de que os erros se distribuem estatisticamente de acordo com uma lei de distribuição normal, demonstra-se que a forma mais correta de estimar o erro absoluto do resultado será através da expressão:

$$|\Delta C| = \sqrt{(\Delta A)^2 + (\Delta B)^2} \quad (3.4)$$

onde:

$\Delta C$  — é o erro absoluto da operação;

$\Delta A$  — é o erro absoluto da variável  $A$ ;

$\Delta B$  — é o erro absoluto da variável  $B$ .

### 3.6.2 Caso do Produto e da Divisão

Num produto ou divisão, o erro relativo ( $\epsilon$ ) do resultado é igual à soma geométrica dos erros relativos dos fatores associados. Considerando:

$$C = A \times B \quad (3.5)$$

onde:

$C$  — é o resultado do produto das variáveis;

$A$  — é o resultado da variável  $A$ ;

$B$  — é o resultado da variável  $B$ .

O erro relativo pode ser calculado a partir da expressão:

$$|\epsilon C| = \sqrt{(\epsilon A)^2 + (\epsilon B)^2} \quad (3.6)$$

onde:



### *CAPÍTULO 3*

$\varepsilon C$  — é o erro relativo da operação;

$\varepsilon A$  — é o erro relativo da variável A;

$\varepsilon B$  — é o erro relativo da variável B.

Verifica-se assim que a incerteza se propaga do mesmo modo nas multiplicações e nas divisões, aumentando em ambos os casos.

## 4 ANÁLISE DE PERDAS

### 4.1 REDE ÁGUAS DO NORTE, S.A.

Responsável pela captação, tratamento e abastecimento de água do Norte de Portugal, a Águas do Norte, SA, encontra-se organizada em 8 centros de operações, sediados na região do Minho, Douro Litoral e Trás-os-Montes (Águas do Norte, 2015; Águas do Norte, 2016)(ver Figura 4.1).

O trabalho desenvolvido, e que este relatório pretende ilustrar, tem enfoque no centro de operações do Grande Porto, nomeadamente no subsistema Lever-Norte.



Figura 4.1 – Distribuição dos centros operacionais e de manutenção pela região Norte (Águas do Norte, 2015).

#### 4.1.1 Subsistema Lever – Norte

A rede de adução do subsistema Norte é responsável pelo abastecimento de água às populações dos municípios do Porto, Matosinhos, Maia, Gondomar, Valongo, bem como, parte do Município de Paredes (Águas do Norte, 2015; Neves, 2015) (ver Figura 4.2).



Figura 4.2 – Mapa centro de operações Grande Porto e Tâmega/Sousa (Águas do Norte, 2015).

Por forma a atender às necessidades destes municípios o subsistema de adução Lever Norte compreende adutoras e reservatórios distribuídos pelos municípios de acordo com o esquema representativo definido na Figura 4.3.

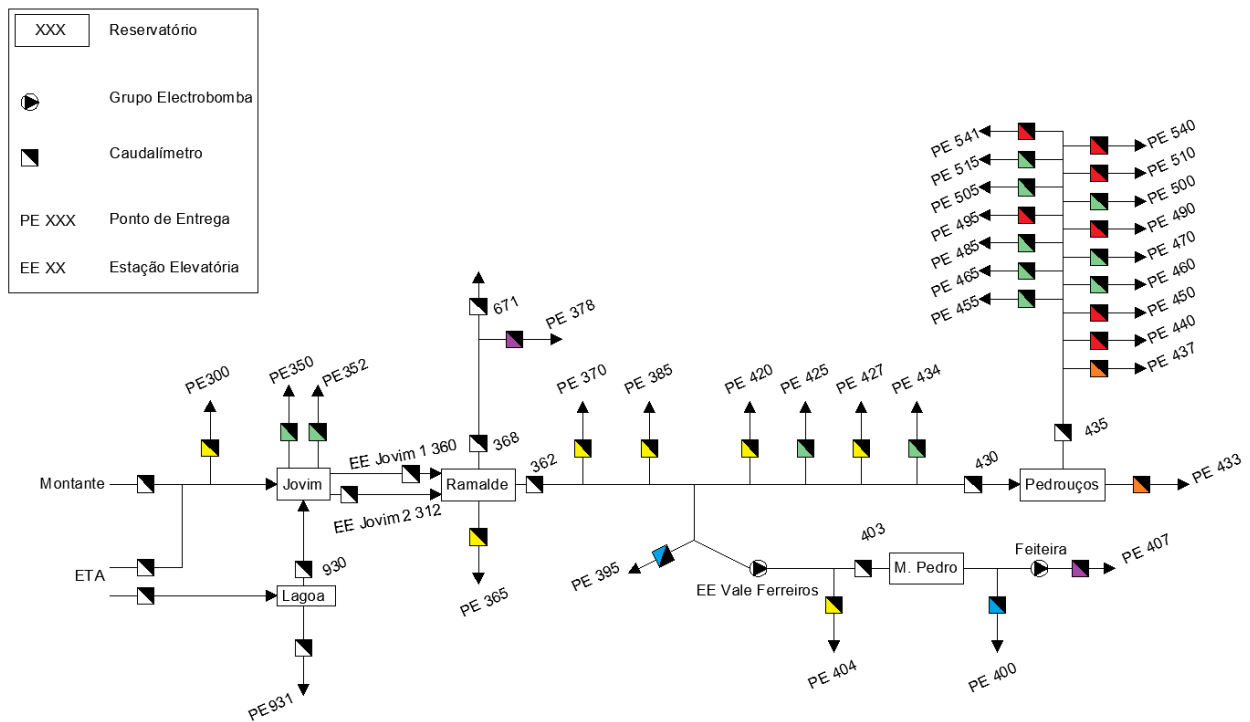


Figura 4.3 – Mapa representativo do subsistema Lever - Norte.

A água utilizada neste subsistema tem por origem o rio Douro, sendo captada através de três captações distintas, Lever Montante, Lever Jusante e Captação Superficial, todas elas situadas na área da Estação de Tratamento de Água (ETA) de Lever. A água captada é, posteriormente alvo de tratamento no mesmo local (ETA de Lever) (AdDP, 2015; Águas do Norte, 2015).

O subsistema Lever-Norte é abastecido diretamente a partir da estação elevatória de Lever Montante e indiretamente, por um reservatório pertencente ao subsistema Sul, designadamente o reservatório de Lagoa. Pode ainda ser abastecido diretamente pela estação elevatória da ETA de Lever em situações esporádicas.

O primeiro e principal reservatório do subsistema Lever Norte é o reservatório de Jovim e é através deste reservatório que a água é distribuída diretamente para os pontos de entrega, representados pelos códigos “PE350” e “PE352” e, ainda, encaminhada para o reservatório de Ramalde através de duas condutas em regime elevatório.

Do reservatório de Ramalde, a água é distribuída por meio de uma estação elevatória para o Subsistema do Vale do Sousa, e por uma linha de adução gravítica para os pontos de entrega que constituem a linha Ramalde-Pedrouços. Nesta linha é ainda abastecida uma sobrepessora em Vale de Ferreiros que, por sua vez, abastece o reservatório de Monte Pedro.

No final do subsistema encontra-se o reservatório de Pedrouços que abastece a linha da Circunvalação (linha gravítica), através da saída monitorizada pelo caudalímetro com o código “435”, e o ponto de entrega da Maia, “PE433”.

#### 4.1.1.1 Reservatórios do Subsistema Lever – Norte

Redirecionando a atenção para a Figura 4.3, denota-se que o subsistema Lever-Norte compreende quatro reservatórios intermédios (reservatórios de Jovim, Ramalde, Monte Pedro e Pedrouços) cujas principais características serão expostas de forma sucinta.

Um primeiro reservatório intermédio, o de Jovim, é constituído por 3 células retangulares com capacidade máxima para 33.280 m<sup>3</sup>, encontrando-se as células de maiores dimensões conectadas pela célula central.

Tabela 4.1 – Reservatório de Jovim.

CÉLULAS DO RESERVATÓRIO						
Nº DE CÉLULAS	3 (de frente para o reservatório: célula 1 à esquerda, célula 2 à direita e célula central no meio)					
FORMA	Retangular					
MATERIAL CONSTRUTIVO	Estrutura de Betão Armado					
COTAS (m)	CÉLULA 1		CÉLULA 2		CÉLULA CENTRAL	
	BASE	PLENO ARMAZ.	BASE	PLENO ARMAZ.	BASE	PLENO ARMAZ.
	135	140,12	135	140,12	135	140,12
DIMENSÕES (m)	61*50		61*50		40*10	
CAPACIDADE (m3)	15600,0		15600,0		2080,0	
CAPACIDADE TOTAL (m3)	33280,0					

Por sua vez, o reservatório de Ramalde dispõe de uma capacidade máxima de armazenamento de 20.000m<sup>3</sup>, sendo que para além de abastecer o reservatório de Pedrouços fornece ainda a estação elevatória para o Subsistema de Vale do Sousa.

Tabela 4.2 – Reservatório de Ramalde.

CÉLULAS DO RESERVATÓRIO				
Nº DE CÉLULAS	2 (de frente para o reservatório: célula 1 à esquerda e célula 2 à direita)			
FORMA	Retangular			
MATERIAL CONSTRUTIVO	Betão Armado			
COTAS (m)	BASE	181,20	PLENO ARMAZEN.	187,32
DIMENSÕES (m)	CÉLULA 1	43*38	CÉLULA 2	43*38
CAPACIDADE (m <sup>3</sup> )	CÉLULA 1	10000,0	CÉLULA 2	10000,0
CAPACIDADE TOTAL (m <sup>3</sup> )	20000,0			

Localizado, entre os reservatórios de Ramalde e Pedrouços encontra-se o reservatório de Monte Pedro que comporta as menores dimensões do subsistema, tendo uma capacidade de apenas 3.400 m<sup>3</sup>.

Tabela 4.3 – Reservatório de Monte Pedro.

CÉLULAS DO RESERVATÓRIO				
Nº DE CÉLULAS	2 (de frente para o reservatório: célula 1 à esquerda e célula 2 à direita)			
FORMA	Circular			
MATERIAL CONSTRUTIVO	Betão Armado			
COTAS (m)	BASE	248,67	PLENO ARMAZEN.	254,02
RAIO (m)	CÉLULA 1	10	CÉLULA 2	10
CAPACIDADE (m3)	CÉLULA 1	1700,0	CÉLULA 2	1700,0
CAPACIDADE TOTAL (m3)	3400,0			

Por fim, o reservatório de Pedrouços, o ultimo intermédio do subsistema, é constituído por 4 células, 2 circulares e 2 retangulares, apresentando uma capacidade máxima combinada de 20.000m<sup>3</sup>.

Tabela 4.4 – Reservatório de Pedrouços.

CÉLULAS DO RESERVATÓRIO ANTIGO				
Nº DE CÉLULAS	2 (de frente para o reservatório: célula 1 à esquerda e célula 2 à direita)			
FORMA	Circular			
MATERIAL CONSTRUTIVO	Betão Armado			
COTAS (m)	BASE	160,89	PLENO ARMAZEN.	167,11
RAIO (m)	CÉLULA 1	16	CÉLULA 2	16
CAPACIDADE (m3)	CÉLULA 1	5000,0	CÉLULA 2	5000,0
CAPACIDADE TOTAL (m3)	10000,0			
CÉLULAS DO RESERVATÓRIO NOVO				
Nº DE CÉLULAS	2 (de frente para o reservatório: célula 1 à esquerda e célula 2 à direita)			
FORMA	Rectangular			
MATERIAL CONSTRUTIVO	Betão Armado			
COTAS (m)	BASE	159,35	PLENO ARMAZEN.	165,30
DIMENSÕES (m)	CÉLULA 1	42*20	CÉLULA 2	42*20
CAPACIDADE (m3)	CÉLULA 1	5000,0	CÉLULA 2	5000,0
CAPACIDADE TOTAL (m3)	10000,0			

#### 4.1.1.2 Adutoras do Subsistema Lever – Norte

Os reservatórios supramencionados encontram-se interligados por meio de adutoras. Através da análise da Tabela 4.5 é possível compreender as principais características das mesmas, nomeadamente no que concerne ao diâmetro nominal, expresso em milímetros, à pressão máxima do funcionamento em bar, à extensão em metros, ao tipo de material, tipo de adução (gravítica ou elevatória), sentido de escoamento e por fim o ano de construção.

Tabela 4.5 – Características das adutoras subsistema Lever - Norte.

Designação	DN (mm)	PN max (bar)	Comprimento (m)	Material	Regime de Escoamento	Sentido de Escoamento	Data Construção
Adutora Lagoa -Jovim	1400	25	5383	Aço	Gravítico	Lagoa - Jovim	2003
Adutora Lever-Jovim DN 1200	1000	16	11828	FFD	Elevatório	Lever - Jovim	1987
Adutora Lever-Jovim DN 1000	1200/1000	16		FFD	Elevatório	Lever - Jovim	1987
Adutora Jovim-Nova Sintra DN600	600	16	9606	FFD	Gravítico	Jovim-Nova Sintra	1957
Adutora Jovim-Ramalde DN1400	1400	16	5149	Betão	Elevatório	Jovim-Ramalde	1975
Adutora Jovim-Ramalde DN1250	1250	16		FFD	Elevatório	Jovim-Ramalde	1999
Adutora Ramalde-Cabanas DN1250	1250	16	9968	Betão	Gravítico	Ramalde-Cabanas	1976
Adutora Ramalde-Cabanas DN1200	1200	16		FFD	Gravítico	Ramalde-Cabanas	1999
Adutora Cabanas-Pedrouços DN1200	1200	16	9094	FFD	Gravítico	Cabanas-Pedrouços	1976
Adutora Cabanas-Pedrouços DN1000	1000	16		Betão	Gravítico	Cabanas-Pedrouços	1999
Adutora Pedrouços-Rotunda AEP	1200/1000/900/800	16	7998	FFD	Gravítico	Pedrouços-Rotunda AEP	1998
Adutora Rotunda AEP-Freixieiro	600	25	7089	Aço/FFD	Gravítico	Rotunda AEP-Freixieiro	1990/2005
Adutora Monte Pedro-Feiteira	500/400	16	9738	Aço/FFD	Gravítico	Monte Pedro-Feiteira	2004
Adutora Feiteira-Rebordosa	300	16	1620	FFD	Elevatório	Feiteira-Rebordosa	2004
Adutora Cabanas-Xistos	800	10	1808	FFD	Gravítico	Cabanas-Xisto	2003
Adutora Xistos-Formiga	500/400	10	3401	Aço/FFD	Gravítico	Xisto-Formiga	2003
Adutora Xistos-Vale de Ferreiros	700	10	1238	FFD	Gravítico	Xisto-Vale Ferreiros	2003
Adutora Vale de Ferreiros-Monte Pedro	700	10	1070	FFD	Elevatório	Vale Ferreiros-Monte Pedro	2003
Adutora Pedrouços-Nogueira II	700	10	8761	FFD	Gravítico	2	2006
Adutora Jovim - Nova Sintra II	900	16	10055	Aço/FFD	Gravítico	Jovim-Nova Sintra	2009
Adutora Ramalde - Galegos	700	25	27239	FFD	2	2	2010

#### 4.1.1.3 Caudalímetros do Subsistema Lever – Norte

Na tabela 4.6. e tabela 4.7 encontram-se os principais pontos de entrega do subsistema Lever-Norte, agrupados de acordo com o município a que pertencem (ver Figura 4.3), com o respetivo código de identificação e a designação dada a cada um.

Tabela 4.6 – Caudalímetros do Subsistema Lever – Norte, municípios do Porto, Maia e Valongo.

<b>Porto</b>	<b>PE350</b>	Nova Sintra DN600
	<b>PE352</b>	Nova Sintra II DN900
	<b>PE434</b>	Pedrouços - Castanheira
	<b>PE425</b>	Castanheira - Areosa
	<b>PE455</b>	Hospital de São João
	<b>PE460</b>	Instituto de Oncologia
	<b>PE465</b>	Amial-Porto
	<b>PE470</b>	Amial-Porto-Matosinhos
	<b>PE485</b>	Monte dos Burgos
	<b>PE500</b>	Rotunda AEP - Zona Industrial
	<b>PE505</b>	Fonte da Moura
	<b>PE515</b>	Preciosa - Mar
<b>Maia</b>	<b>PE437</b>	Pedrouços - Nogueira II
	<b>PE433</b>	Pedrouços - Maia
<b>Valongo</b>	<b>PE395</b>	Formiga e Ermesinde
	<b>PE400</b>	Monte Pedro - Valongo

Tabela 4.7 – Caudalímetros do Subsistema Lever – Norte, municípios de Gondomar, Matosinhos e Paredes

<b>Gondomar</b>	<b>PE300</b>	Compostela
	<b>PE365</b>	Ramalde Gondomar
	<b>PE370</b>	Calvário
	<b>PE385</b>	Venda Nova II
	<b>PE404</b>	Monte Pedro - Gondomar II
	<b>PE420</b>	Castanheira - Medancelhe
	<b>PE427</b>	Alto das Oliveiras
	<b>PE440</b>	Unicer (rotunda)
<b>Matosinhos</b>	<b>PE450</b>	Arroteia
	<b>PE490</b>	Padrão
	<b>PE495</b>	S. Gens - Custóias
	<b>PE510</b>	Cruz de Pau
	<b>PE540</b>	Freixieiro
	<b>PE541</b>	Lavra
<b>Paredes</b>	<b>PE407</b>	Feiteira

### 4.1.2 Subsistema Lever – Sul

A rede de adução do subsistema Lever-Sul abastece os municípios de Vila Nova de Gaia, Espinho, Santa Maria da Feira, Oliveira de Azeméis, São João da Madeira, Ovar e Arouca (ver Figura 4.2) (AdDP, 2015). Na Figura 4.4 encontra-se uma representação esquemática da rede do subsistema Lever-Sul constituída pelos pontos de entrega, pontos intermédios, bem como, os principais reservatórios.

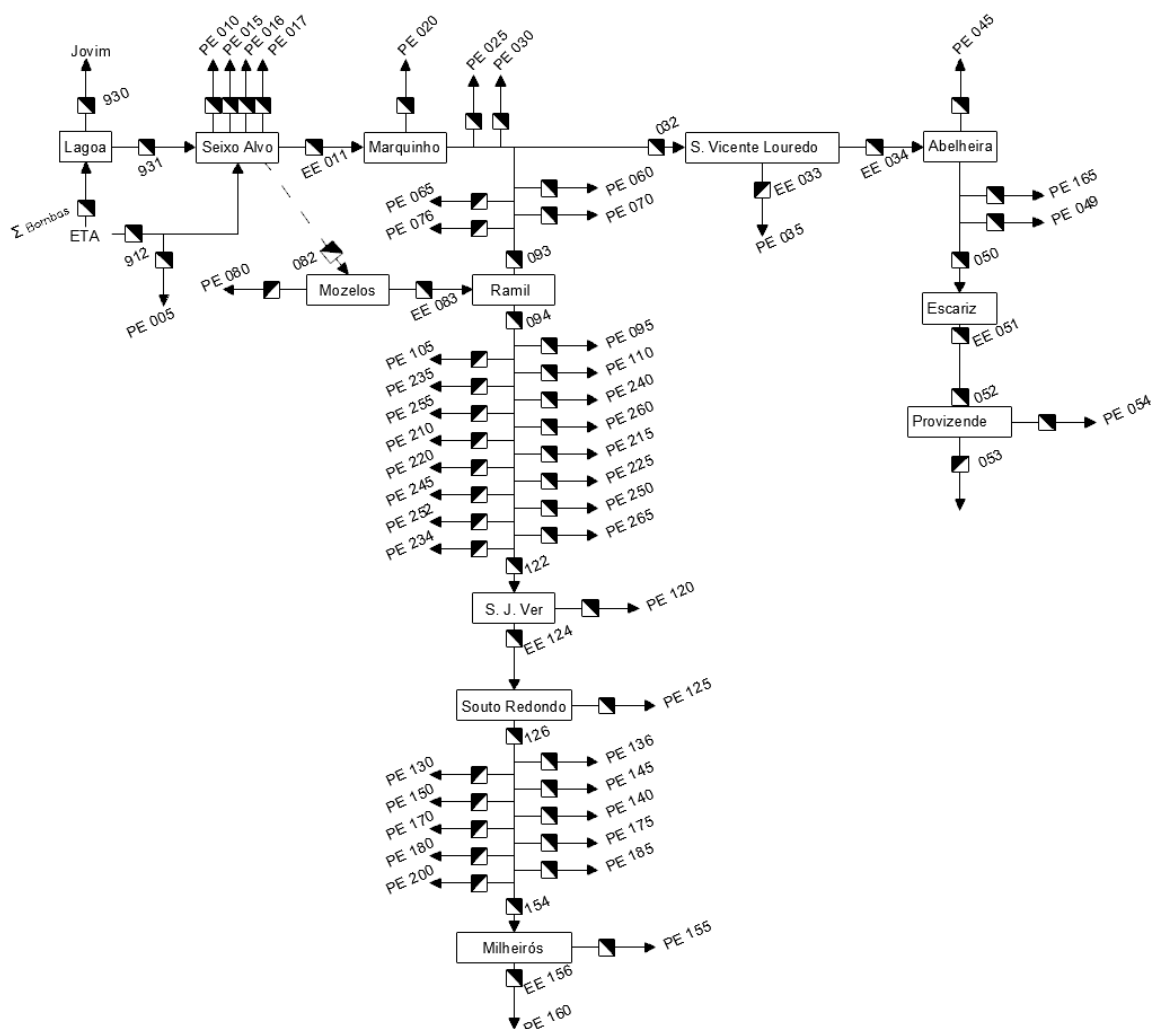


Figura 4.4 – Mapa representativo do subsistema Lever - Sul.

O subsistema Lever-Sul é abastecido de forma direta pela ETA de Lever, bem como, pelo reservatório de Lagoa, que como já supramencionado fornece água ao subsistema Lever-Norte através de uma conduta gravítica.

De destacar que o reservatório de Mozelos é abastecido pelo reservatório de Seixo Alvo através do ponto de entrega com o código “PE017”. De Mozelos a água pode ser distribuída para o ponto de entrega de Mozelos, “PE080”, e ainda ser elevada para o reservatório de Ramil.

Excluindo esta particularidade do subsistema, a restante rede funciona através dos sucessivos reservatórios intermédios e de estações elevatórias. Dos reservatórios intermédios da rede, destacam-se



os de Lagoa e Seixo Alvo, ver Tabela 4.8 e 4.9 respetivamente, dada a importância que estes apresentam em análises a detalhar posteriormente.

Tabela 4.8 – Reservatório de Lagoa.

CÉLULAS DO RESERVATÓRIO				
Nº DE CÉLULAS	2 (de frente para o reservatório: célula 1 à esquerda e célula 2 à direita)			
FORMA	Retangular			
MATERIAL CONSTRUTIVO	Betão Armado			
COTAS (m)	BASE	147,00	PLENO ARMAZEN.	152,30
DIMENSÕES (m)	CÉLULA 1	60*55	CÉLULA 2	60*55
CAPACIDADE (m3)	CÉLULA 1	17500,0	CÉLULA 2	17500,0
CAPACIDADE TOTAL (m3)	35000,0			
REVESTIMENTO INTERIOR	PAREDES	Argamassa Cimentícia		
	PAVIMENTO	Argamassa Cimentícia		

Tabela 4.9 – Reservatório de Seixo Alvo.

CÉLULAS DO RESERVATÓRIO				
Nº DE CÉLULAS	2 (de frente para o reservatório: célula 1 à esquerda e célula 2 à direita)			
FORMA	Circular			
MATERIAL CONSTRUTIVO	Betão Armado			
COTAS (m)	BASE	214,0	PLENO ARMAZEN.	220,63
RAIO (m)	CÉLULA 1	12	CÉLULA 2	12
CAPACIDADE (m3)	CÉLULA 1	3000,0	CÉLULA 2	3000,0
CAPACIDADE TOTAL (m3)	6000,0			
REVESTIMENTO INTERIOR	PAREDES	Vandex Cemelast Blue		
	PAVIMENTO	Vandex Cemelast Blue		

## 4.2 VALIDAÇÕES E ENSAIOS

Com o intuito de validar o funcionamento dos equipamentos de medição existentes no sistema de abastecimento em alta, do subsistema Lever-Norte, bem como detetar os principais pontos do subsistema que carecem de maior atenção, foram efetuadas validações e idealizados ensaios. Estes, recorrendo a equipamentos que se encontram disponíveis na rede, como os caudalímetros e medidores de nível (ver figura 4.5), permitiram, através de uma análise volumétrica avaliar as possíveis perdas ao longo do subsistema.

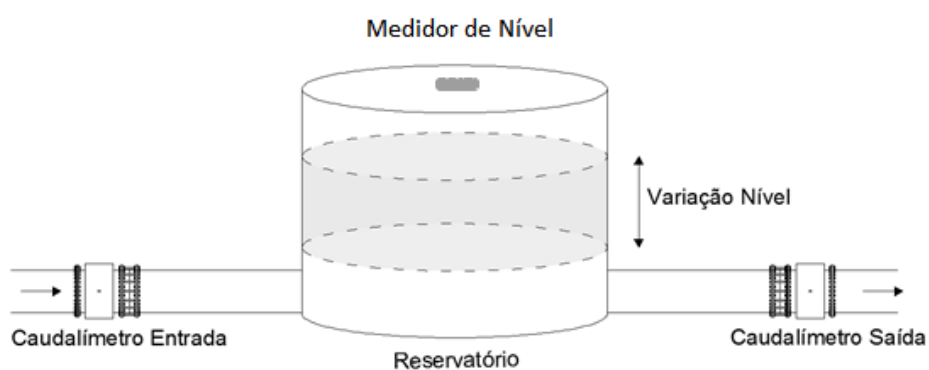


Figura 4.5 – Esquema representativo dos equipamentos de medição.

Assim sendo, neste estudo, é considerada perda a diferença entre o volume de água que entra e que sai do reservatório, deduzindo a variação do volume no reservatório originada pela variação de nível num determinado período de tempo. De uma forma simplificada a perda pode ser calcula pela expressão:

$$\text{Perda} = V_e - V_s - V_n \quad (4.1)$$

onde:

$V_e$  — é o volume de entrada, contabilizado pelo/s caudalímetro/s a montante do reservatório;

$V_s$  — é o volume de saída, contabilizado pelo/s caudalímetro/s a jusante do reservatório;

$V_n$  — é a variação de volume originado pela diferença de níveis num determinado intervalo de tempo.

Denota-se, contudo, que a diferença obtida poderá ser indicativa de uma perda real, originada por uma fuga ou rotura no subsistema, ou apontar para um possível erro de medição dos equipamentos de monitorização, isto é, uma perda aparente.

Na Figura 4.6 é apresentado um exemplo que ilustra a aplicação da metodologia utilizada, e anteriormente referida, aplicada ao reservatório de Monte Pedro.

Data Início	Data Fim	Totalizadores									Reservatório Monte Pedro									Entrada - Saída	Perda
		PE403			PE400			PE407			Célula 1			Célula 2			Volume Total				
		Início	Fim	Diferença	Início	Fim	Diferença	Início	Fim	Diferença	Início	Final	Diferença	Início	Final	Diferença					
01-03-2016	02-03-2016	4,6E+07	4,6E+07	7224	3,4E+07	3,4E+07	5468	6E+06	5838853	1110	3,65	4,18	0,53	3,64	4,17	0,53	333	646	313		
02-03-2016	03-03-2016	4,6E+07	4,6E+07	6152	3,4E+07	3,4E+07	5000	6E+06	5840043	1190	4,18	3,77	-0,41	4,17	3,76	-0,41	-258	-38	220		
03-03-2016	04-03-2016	4,6E+07	4,6E+07	10756	3,4E+07	3,4E+07	9108	6E+06	5841417	1374	3,77	3,6	-0,17	3,76	3,59	-0,17	-107	274	381		

Figura 4.6 – Exemplo aplicação metodologia ao reservatório de Monte Pedro.

Para além deste procedimento, existe ainda a possibilidade de quantificar uma perda através da diferença gerada entre o volume contabilizado por um caudalímetro de saída de um reservatório e, o somatório do volume contabilizado pelos caudalímetros dos pontos de entrega, como é o caso do caudalímetro “435”, ver Figura 4.3.

Nesta situação a expressão que permite calcular as perdas toma a forma de:

$$\text{Perda} = V_s - \sum Pe's \quad (4.2)$$

onde:

$V_s$  — é o volume de saída, contabilizado pelo caudalímetro à saída do reservatório;

$\sum Pe's$  — é o somatório dos volumes contabilizados pelos caudalímetros dos pontos de entrega a jusante do caudalímetro de saída do reservatório.

Na Figura 4.7, podemos observar um excerto da aplicação deste procedimento ao caudalímetro “435”.

DataInicio	DataFim	Totalizadores																		Total	Diferença
		PE435	PE510	PE465	PE440	PE450	PE460	PE437	PE515	PE505	PE495	PE540	PE500	PE490	PE541	PE485	PE470	PE455			
		Diferença	Diferença	Diferença	Diferença	Diferença	Diferença	Diferença	Diferença	Diferença	Diferença	Diferença	Diferença	Diferença	Diferença	Diferença	Diferença	Diferença			
01-03-2016	02-03-2016	55.607	7.840	3.334	1.534	3.582	1.357	6.184	1.995	5.980	8.090	3.880	1.815	5.121	3.332	3.325	84	1.043	58.496	-2.889	
02-03-2016	03-03-2016	57.786	7.580	3.193	442	3.676	1.614	6.542	1.928	5.832	7.910	3.847	1.798	5.040	3.686	3.296	80	1.055	57.519	267	
03-03-2016	04-03-2016	52.910	428	3.362	618	3.576	1.652	6.774	2.007	5.892	8.258	3.900	1.816	5.094	4.028	3.392	83	991	51.871	1.039	

Figura 4.7 – Exemplo aplicação da metodologia ao caudalímetro “435”.

Com a aplicação da metodologia ao subsistema Lever-Norte, é possível quantificar as seguintes estimativas de perdas:

#### Subsistema Lever - Norte

$$P1 = (\text{Saída Montante} + \sum [\text{Estação Elevatória ETA Lever}] + \text{PE930} - \text{PE300}) - \text{Nova Sintra} - \sum [\text{Estação Elevatória (1+2)}] - \text{RSV Jovim} \quad (4.3)$$

$$P2 = \sum [\text{Estação Elevatória (1+2)}] - \text{PE365} - \text{PE368} - \text{PE362} - \text{RSV Ramalde} \quad (4.4)$$

$$P3 = [\text{PE362} - \sum (\text{PE's até Pedrouços}) - \text{RSV Monte Pedro}] - \text{PE435} - \text{PE433} - \text{RSV Pedrouços} \quad (4.5)$$

$$P4 = \text{PE435} - \sum (\text{PE's Circunvalação}) \quad (4.6)$$

onde:

$P_x$  — é a perda x, num determinado tramo do subsistema;

$PE_{xxx}$  — é o volume contabilizado pelo caudalímetro com o código “xxx”;

$Rsv\ Xxxx$  — é a variação de volume no reservatório “Xxxx” num determinado intervalo de tempo.

#### 4.2.1 Reservatórios do Subsistema Lever – Norte

Com recurso à metodologia mencionada no ponto anterior, foram avaliadas as perdas nos reservatórios do subsistema Lever-Norte e nos reservatórios de Lagoa e Seixo Alvo, pela importância que estes constituem para o primeiro. Assim, foram efetuadas duas validações, uma primeira com enfoque nas perdas diárias (ver 4.2.1.1) e, uma outra que serviu de complemento à primeira (ver 4.2.1.2) com enfoque em períodos temporais mais restritos, designadamente as horas de ponta.

##### 4.2.1.1 Diário

A primeira validação teve por objetivo avaliar as perdas diárias que ocorrem no subsistema Lever-Norte utilizando para esse efeito a expressão 4.1. Para tal, foram tidos em conta os volumes contabilizados pelos caudalímetros que monitorizam os volumes de entrada e saída de água nos diversos reservatórios constituintes do subsistema em análise. Os volumes contabilizados são registados diariamente numa base

de dados pertencente às Águas do Norte, S.A. sendo considerado para esta validação o registo efetuado pelas 10:00 horas de cada dia.

Com base nos resultados provindos da aplicação desta expressão é possível aferir, através do volume de água considerado como perda, quais os pontos da rede que carecem de maior atenção.

Neste seguimento, utilizando a metodologia descrita anteriormente e, considerando um intervalo temporal compreendido entre as 10:00 horas de um determinado dia e as 10:00 horas do dia subsequente, foram avaliadas as perdas nos reservatórios que constituem o subsistema Lever – Norte, e ainda dos reservatórios Seixo Alvo e Lagoa. A análise deste último prende-se com o facto de o mesmo comunicar diretamente com o subsistema Lever – Norte. Os dados apresentados circunscrevem-se ao período entre 1 de março de 2016 e dia 21 do mesmo mês, por forma a apresentar maior fiabilidade dos resultados obtidos.

O primeiro reservatório em análise é o de Jovim. Este reservatório, como mencionado em “4.1.1 Subsistema Lever – Norte”, pode ser abastecido por três vias, nomeadamente: (i) diretamente pela ETA de Lever através da estação elevatória de Lever – Montante, (ii) esporadicamente por meio de elevação da água armazenada nos reservatórios de água tratada (RAT) da ETA de Lever e, ainda, (iii) através de uma conduta gravítica com origem no reservatório de Lagoa.

Assim, com base no somatório dos volumes de água providas das três origens, é possível aferir o volume teórico de entrada no reservatório de Jovim. Todavia, a este volume será descontado o consumo de um ponto de entrega, o “PE300 – Compostela” (ver Figura 4.3).

No que respeita ao volume de saída do reservatório, este é resultado do somatório do volume elevado pelas estações elevatórias Jovim 1 e Jovim 2, monitorizadas pelos caudalímetros com o código “360” e “312” (ver Figura 4.3), e pelos pontos de entrega de Nova Sintra, com os caudalímetros “PE350” e “PE352”.

Para que se possa determinar a variação do volume do reservatório são utilizados medidores de nível ultrassónicos colocados em cada célula. Estes medem a evolução do nível de água ao longo do dia, permitindo o cálculo da variação de nível num determinado período de tempo. Recorrendo às dimensões das células dos reservatórios é possível aferir a variação de volume.

Os resultados obtidos da aplicação da metodologia, são ilustrados, de forma simplificada, na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Ensaio diário para o reservatório de Jovim.

Data Início	Data Fim	Volume Entrada (m <sup>3</sup> )	Volume Saída (m <sup>3</sup> )	Variação Volume (m <sup>3</sup> )	Perda (m <sup>3</sup> )
01-03-2016 10:00	02-03-2016 10:00	171.588	167.576	1.694	2.318
02-03-2016 10:00	03-03-2016 10:00	162.844	161.183	-325	1.986
03-03-2016 10:00	04-03-2016 10:00	163.472	162.331	-1.178	2.319
04-03-2016 10:00	05-03-2016 10:00	169.784	163.178	4.715	1.892
05-03-2016 10:00	06-03-2016 10:00	170.228	171.403	-3.801	2.625
06-03-2016 10:00	07-03-2016 10:00	158.864	156.627	880	1.358
07-03-2016 10:00	08-03-2016 10:00	171.064	164.026	5.001	2.037
08-03-2016 10:00	09-03-2016 10:00	158.252	161.082	-5.257	2.427
09-03-2016 10:00	10-03-2016 10:00	158.588	154.801	1.912	1.875
10-03-2016 10:00	11-03-2016 10:00	159.920	159.321	-1.556	2.155
11-03-2016 10:00	12-03-2016 10:00	171.844	173.548	-3.449	1.745
12-03-2016 10:00	13-03-2016 10:00	172.972	172.239	-1.396	2.129
13-03-2016 10:00	14-03-2016 10:00	169.552	163.982	3.445	2.125
14-03-2016 10:00	15-03-2016 10:00	157.220	155.207	-291	2.304
15-03-2016 10:00	16-03-2016 10:00	171.156	167.151	1.820	2.185
16-03-2016 10:00	17-03-2016 10:00	171.060	167.628	1.166	2.266
17-03-2016 10:00	18-03-2016 10:00	165.800	167.226	-3.346	1.919
18-03-2016 10:00	19-03-2016 10:00	167.668	162.142	3.701	1.825
19-03-2016 10:00	20-03-2016 10:00	157.816	162.221	-6.336	1.931
20-03-2016 10:00	21-03-2016 10:00	170.608	162.576	6.825	1.207

Atendendo aos resultados obtidos e considerando volumes de 166.015m<sup>3</sup> e 163.773m<sup>3</sup> como volumes médios de entrada e saída, respetivamente, e uma variação de volume em média de 211 m<sup>3</sup>, denota-se a existência de uma perda, média, de 2.031m<sup>3</sup>. (ver Figura 4.8)

Em termos percentuais, em média, esta perda representa 1,22% do volume de água que entra no reservatório de Jovim. Este volume de perdas, representa uma variação de nível na ordem dos 0,31m nas células do reservatório de Jovim, sugerindo assim o funcionamento anómalo de algum equipamento de medição, contudo, não é possível identificar o(s) equipamento(s) responsáveis pela diferença verificada.

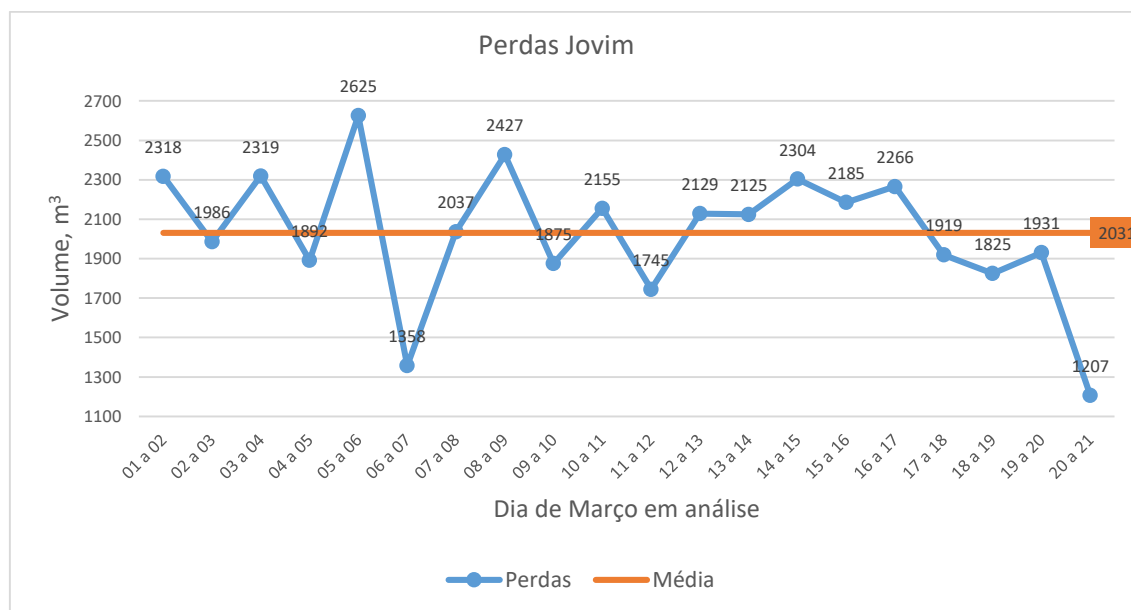


Figura 4.8 – Perdas registadas ao longo do mês de março no reservatório de Jovim.

No seguimento da rede de abastecimento do subsistema Lever – Norte, encontra-se o reservatório de Ramalde. Este é abastecido por duas elevatórias situadas em Jovim, cujos volumes são determinados pelos caudalímetros com os códigos “312” e “360”. Como mencionado no ponto “4.1.1 Subsistema Lever – Norte”, o reservatório de Ramalde abastece a linha Ramalde – Pedrouços, um ponto de entrega em Gondomar, “PE365”, e ainda a elevatória para o subsistema do Vale do Sousa, o que no seu todo perfaz os volumes de saída do reservatório (ver Figura 4.3).

Por sua vez, a variação de nível é monitorizada pelos medidores ultrassónicos localizados na parte superior das células dos reservatórios, sendo depois determinado a variação de volume em função da dimensão das células.

Depois de recolhidos e analisados os dados obtidos pela aplicação da metodologia descrita (ver Anexo A-1.), os dados obtidos foram expostos na Tabela 4.11, sob a forma de valores médios determinados ao longo do período em análise.

Observando a Tabela 4.11, verifica-se que, em média, o volume de entrada assume um valor de  $140.851\text{m}^3$  e o volume de saída corresponde a  $141.139\text{m}^3$ . Assumindo uma variação média de volume de  $7\text{ m}^3$  resulta uma diferença, média, de  $-295\text{m}^3$  (ver Figura 4.9).

Tabela 4.11 – Ensaio diário para o reservatório de Ramalde.

Data Início	Data Fim	Volume Médio de Entrada (m³)	Volume Médio de Saída (m³)	Variação Média de Volume (m³)	Perda Média (m³)
01-03-2016 10:00	21-03-2016 10:00	140.851	141.139	7	-295

Esta diferença, média, de  $-295\text{m}^3$  representa 0,21% do volume de entrada do reservatório de Ramalde.

Partindo do pressuposto que as células do reservatório de Ramalde apresentam  $4.128\text{m}^2$  de área, uma diferença de aproximadamente  $300\text{m}^3$ , corresponde a uma variação de nível nas células do reservatório de aproximadamente 0,07m. Considerando, que os medidores de nível, instalados nas células do reservatório de Ramalde, são do tipo ultrassónico, e apresentam uma incerteza padrão máxima de 0,25% (ver 3.5.3.1), e atendendo ao facto do reservatório possuir um nível máximo de armazenamento de 6m, o erro de medição dos medidores de nível assume um valor máximo de 0,02m.

Assim, verifica-se a possibilidade de um ou mais caudalímetros afetos ao controlo dos volumes de entrada e/ou saída do reservatório de Ramalde se encontrarem com funcionamento anómalo, não descartando, contudo, a possibilidade do erro advir de medições de níveis incorretas por parte dos medidores de nível.

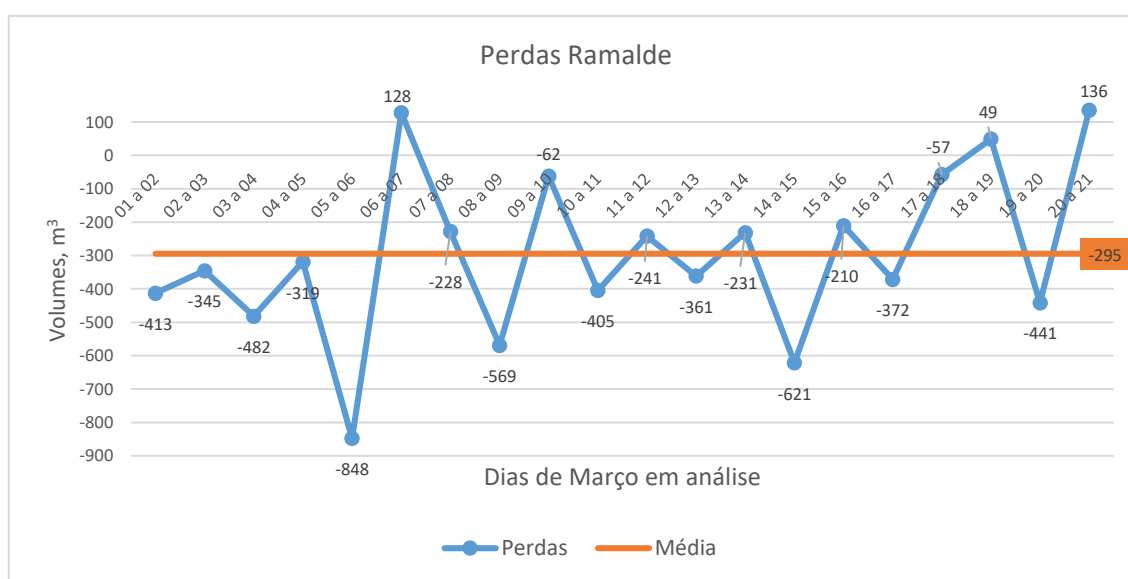


Figura 4.9 – Perdas registadas ao longo do mês de março no reservatório de Ramalde.

Da linha de Ramalde – Pedrouços é abastecido o reservatório de Monte Pedro através da entrada controlada pelo caudalímetro “403” (ver Figura 4.3), o qual abastece posteriormente os pontos de entrega com os códigos “PE400” e “PE407”.

Os resultados obtidos encontram-se de uma forma simplificada expostos na Tabela 4.12, encontrando-se no Anexo A-2. a totalidade dos dados recolhidos.

Tabela 4.12 – Ensaio diário para o reservatório de Monte Pedro.

Data Início	Data Fim	Volume Médio de Entrada (m³)	Volume Médio de Saída (m³)	Variação Média de Volume (m³)	Perda Média (m³)
01-03-2016 10:00	21-03-2016 10:00	8.082	7.795	15	272

Da análise dos resultados obtidos depreende-se que em média para um volume de entrada de  $8.082\text{m}^3$  e um volume de saída de  $7.795\text{m}^3$  as perdas correspondem a  $272\text{m}^3$  (ver Figura 4.10), considerando que as células do reservatório de Monte Pedro acumulam  $15\text{m}^3$  por dia.

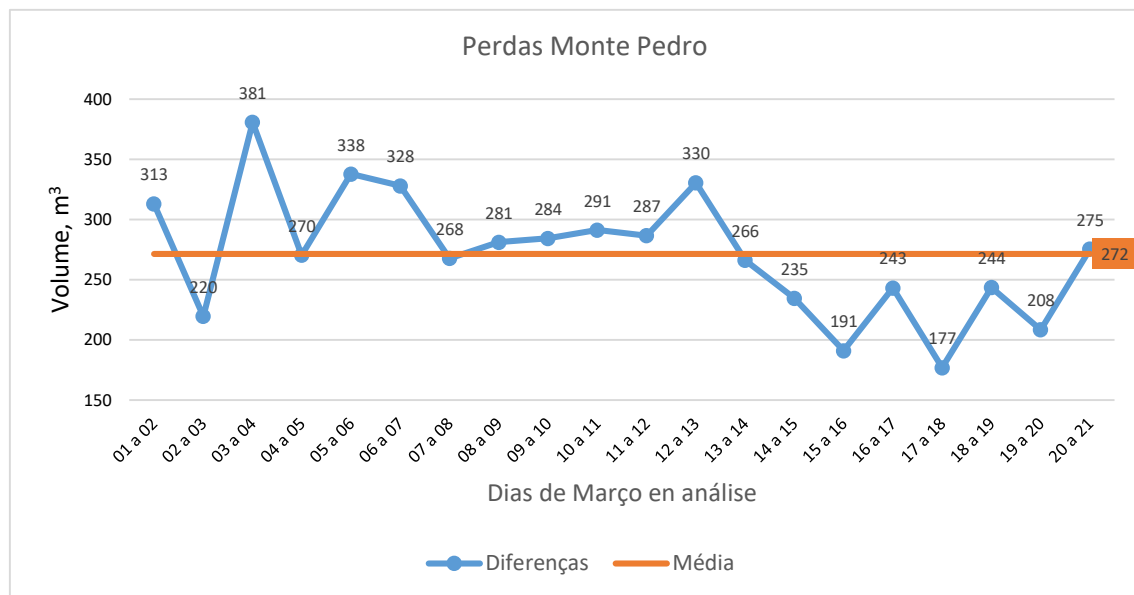


Figura 4.10 – Perdas registadas ao longo do mês de março no reservatório de Monte Pedro.

Comparativamente ao volume de entrada, uma perda média diária de  $272\text{m}^3$  representa 3,36% do volume contabilizado pelo caudalímetros de entrada no reservatório de Monte Pedro.

O volume considerado como perda média diária,  $272\text{m}^3$ , representa uma variação de nível de 0,43 m nas células do reservatório de Monte Pedro, considerando que as células apresentam uma área acumulativa de  $628\text{m}^2$ . Constata-se, portanto, que as diferenças obtidas não podem ser explicadas apenas pela incerteza dos equipamentos de medição de nível ultrassónicos instalados nas células do reservatório. Uma vez mais, depreende-se que os erros são provenientes dos caudalímetros afetos ao controlo dos volumes de entrada e saída do reservatório.

Para finalizar a análise dos reservatórios do subsistema Lever – Norte, foi repetido o mesmo procedimento para o reservatório de Pedrouços (ver Anexo A-3.).

Neste caso, o caudalímetro com o código “430” foi considerado para o controlo dos volumes de entrada, sendo as saídas monitorizadas pelos caudalímetros “PE433” e “435”. Na Tabela 4.13 são apresentados de forma sucinta os resultados obtidos neste ensaio.



Tabela 4.13 – Ensaio diário para o reservatório de Pedrouços.

Data Início	Data Fim	Volume Médio de Entrada (m <sup>3</sup> )	Volume Médio de Saída (m <sup>3</sup> )	Variação Média de Volume (m <sup>3</sup> )	Perda Média (m <sup>3</sup> )
01-03-2016 10:00	21-03-2016 10:00	59.920	68.748	37	-8.865

Atendendo aos resultados obtidos (ver Figura 4.11), denota-se que em média, as diferenças assumem valores de -8.865m<sup>3</sup>. Valor que corresponde a 14,79% do volume médio de entrada no reservatório, 59.920m<sup>3</sup> de acordo com a Tabela 4.13. Verifica-se ainda através da Tabela 4.13 que o volume de saída registado pelos dois caudalímetros à saída do reservatório, 68.748m<sup>3</sup>, é superior ao volume de entrada, contudo o reservatório apresenta uma acumulação média de 37m<sup>3</sup> por dia.

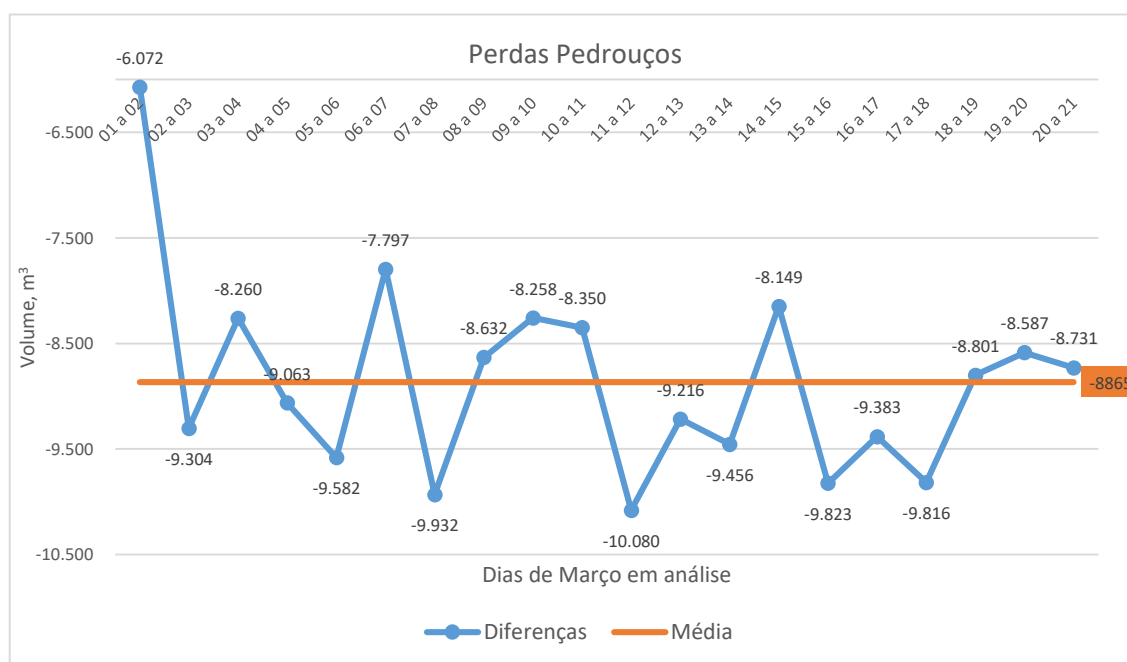


Figura 4.11 – Perdas registadas ao longo do mês de março no reservatório de Pedrouços.

Nesta análise, considerando como perda média diária, 8.865m<sup>3</sup>, o equivalente a 44% do volume total dos reservatórios de Pedrouços, 20.000m<sup>3</sup>, torna-se evidente o funcionamento erróneo dos caudalímetros de controlo, contudo, não é possível localizar a origem do problema.

Dada a importância do reservatório de Lagoa para o subsistema Lever-Norte, este foi analisado utilizando o mesmo procedimento aplicado aos reservatórios do subsistema Lever – Norte (ver Anexo A-4.).

O reservatório de Lagoa é abastecido em exclusivo pela estação elevatória da ETA de Lever, sendo o volume de entrada determinado através dos caudalímetros das bombas que realizam a elevação da água da ETA até ao reservatório. Em média são elevados 91.564 m<sup>3</sup> por dia para este reservatório e são

distribuídos  $91.165\text{m}^3$  (ver Tabela 4.14) pelos subsistemas Lever-Norte e Sul o que origina uma acumulação média no reservatório de  $71\text{m}^3$ . Com base nestes dados é possível determinar uma perda média diária de  $328\text{m}^3$  (ver Figura 4.12) que corresponde a 0,36% do volume elevado da ETA de Lever para o reservatório.

Tabela 4.14 – Ensaio diário para o reservatório de Lagoa.

Data Início	Data Fim	Volume Médio de Entrada ( $\text{m}^3$ )	Volume Médio de Saída ( $\text{m}^3$ )	Variação Média de Volume ( $\text{m}^3$ )	Perda Média ( $\text{m}^3$ )
01-03-2016 10:00	21-03-2016 10:00	91.564	91.165	71	328

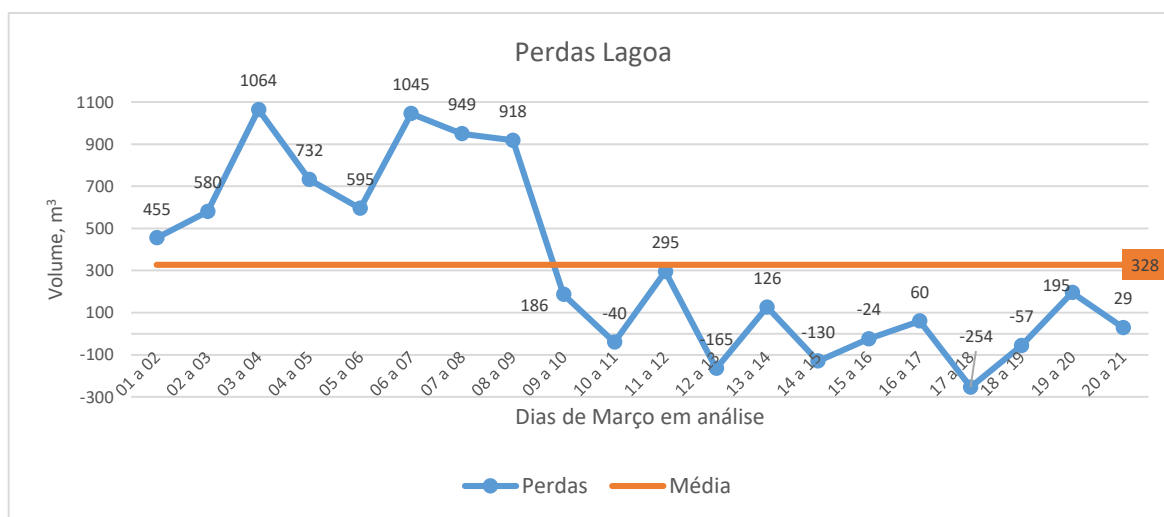


Figura 4.12 – Perdas registadas ao longo do mês de março no reservatório de Lagoa.

O valor de  $328\text{m}^3$ , estimado como perda média diária, é o equivalente a uma variação de nível de aproximadamente 0,05m, considerando a área total das duas células do reservatório,  $6.600\text{m}^2$ . Este valor, 0,05metros, é aproximadamente 5 vezes superior ao erro admissível para a incerteza do medidor de nível, considerando que para altura de 5m, o erro máximo corresponde a 0,01m. Assim, assumindo que os medidores de nível se encontram a funcionar corretamente, pode aferir-se que a diferença registada tem por origem o funcionamento erróneo dos caudalímetros.

Para finalizar as validações diárias, submeteu-se o reservatório de Seixo Alvo ao mesmo procedimento (ver Anexo A-5.) com o intuito de aferir o funcionamento deste reservatório.

Este reservatório recebe água da ETA de Lever e simultaneamente do reservatório de Lagoa. Por sua vez o reservatório de Seixo Alvo abastece um conjunto de pontos de entrega de forma gravítica e ainda abastece o reservatório de Marquinho através de uma estação elevatória (ver Figura 4.4). Em valores

médios diários, o volume de entrada representa um volume de  $85.813\text{m}^3$  e, o volume de saída um valor de  $85.943\text{m}^3$ , existindo ainda a tendência de o reservatório acumular  $21\text{m}^3$  por dia (ver Tabela 4.15).

Tabela 4.15 – Ensaio diário para o reservatório de Seixo Alvo.

Data Início	Data Fim	Volume Médio de Entrada ( $\text{m}^3$ )	Volume Médio de Saída ( $\text{m}^3$ )	Variação Média de Volume ( $\text{m}^3$ )	Perda Média ( $\text{m}^3$ )
01-03-2016 10:00	21-03-2016 10:00	85.813	85.943	21	-151

Com base nos valores médios obtidos, determina-se uma diferença diária média de  $-151\text{m}^3$  (ver Figura 4.13), volume que corresponde a 0,18% do volume de entrada neste reservatório.

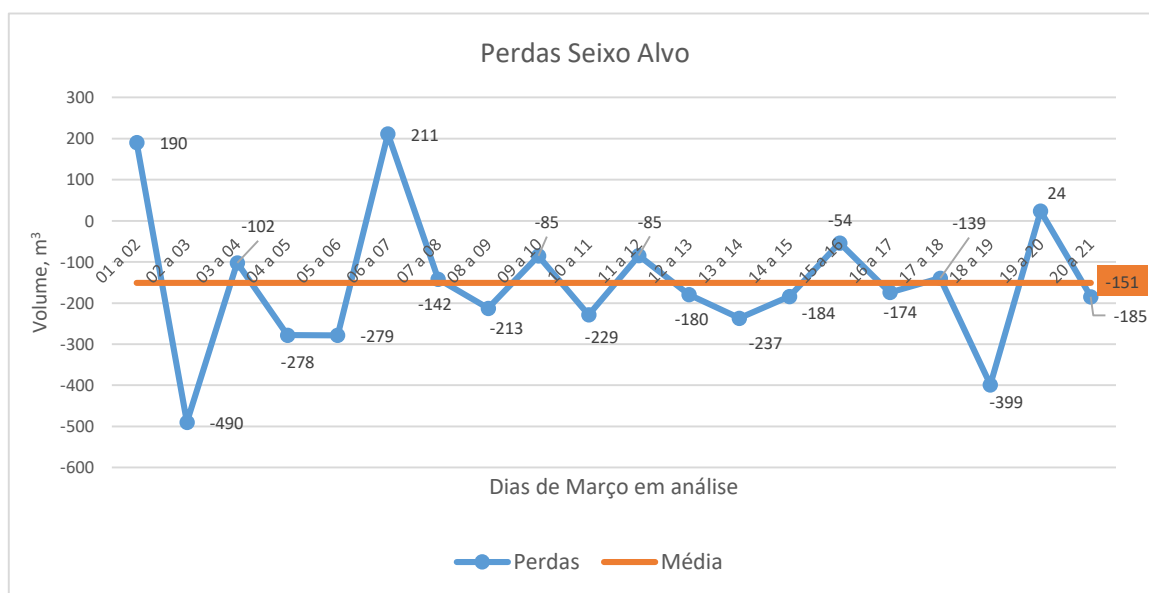


Figura 4.13 – Perdas registadas ao longo do mês de março no reservatório de Seixo Alvo.

A existência de uma diferença média diária de  $151\text{m}^3$ , e sabendo que as células do reservatório de Seixo Alvo apresentam 12m de raio, representa uma variação de nível de aproximadamente 0,17m. A variação de nível constatada é muito superior ao erro máximo admitido pelos medidores de nível ultrassónicos, originando assim dúvidas acerca do correto funcionamento dos caudalímetros afetos a este reservatório.

#### 4.2.1.2 Hora de Ponta

Nesta validação, o procedimento aplicado utiliza os mesmos pressupostos da anterior, diferindo da primeira apenas no que diz respeito à duração. Esta validação realizou-se em dois períodos temporais distintos denominados horas de ponta, um primeiro compreendido entre as 10:00 e as 12:00 horas, e um

segundo entre as 19:00 e as 21:00 horas. Nestes períodos, habitualmente, as estações elevatórias encontram-se paradas, estando apenas em funcionamento as adutoras em regime gravítico, permitindo assim validar alguns pontos da rede com recurso à análise cruzada dos dados obtidos desta análise com os resultados obtidos pela análise anterior.

Por justaposição com a análise anterior, a primeira validação foca-se no reservatório de Jovim, encontrando-se os resultados obtidos na Tabela 4.18. No decorrer desta validação, o reservatório de Jovim apenas recebe água do reservatório de Lagoa através de uma conduta gravítica monitorizada pelo caudalímetro com o código “930” (ver Figura 4.3) e, abastece os pontos de entrega de Nova Sintra, “PE350” e “PE352”.

Tabela 4.16 – Ensaio hora de ponta para o reservatório de Jovim.

Data	Horas	Volume Entrada (m <sup>3</sup> )	Volume Saída (m <sup>3</sup> )	Variação Volume (m <sup>3</sup> )	Perda (m <sup>3</sup> )
01-03-2016	10h-12h	5.568	2.222	3.254	92
02-03-2016		5.568	2.006	3.598	-35
03-03-2016		5.592	2.002	3.602	-12
08-03-2016		5.520	1.918	3.632	-30
09-03-2016		5.488	2.254	3.216	18
10-03-2016		5.536	2.186	3.437	-87
15-03-2016		5.520	2.072	3.441	7
16-03-2016		5.440	2.094	3.346	1
17-03-2016		5.328	2.102	3.246	-20
01-03-2016	19h-21h	5.384	1.962	3.120	302
02-03-2016		5.392	1.987	3.350	55
03-03-2016		5.392	1.975	3.216	201
08-03-2016		5.344	1.941	3.437	-34
09-03-2016		5.496	2.189	2.990	317
10-03-2016		5.248	2.128	2.826	295
15-03-2016		5.208	2.063	3.055	90
16-03-2016		5.272	2.062	3.029	181
17-03-2016		5.320	2.061	3.116	143

Da análise da Tabela 4.18 pode-se verificar que no período compreendido entre as 10:00 e as 12:00 horas da manhã, existe uma diferença média diária de -7m<sup>3</sup>, diferença que corresponde a 0,35% do volume médio de saída, 2.095m<sup>3</sup>. Durante o período das 19:00 às 21:00 horas, as perdas apresentam em média

um valor superior, atingindo valores na ordem dos  $172 \text{ m}^3$ , o que representa 8,44% do volume médio de saída do reservatório no período em análise,  $2.041 \text{ m}^3$ .

As discrepâncias entre os valores obtidos nos dois períodos em análise poderão ter como origem a variação dos níveis no reservatório de Lagoa, que influenciam diretamente o volume de entrada no reservatório do Jovim uma vez que a adutora que conecta os dois reservatórios, Lagoa e Jovim, funciona em regime gravítico. Verifica-se que o volume de entrada é em média inferior em  $167 \text{ m}^3$  no período das 19:00 às 21:00 horas.

Tendo em consideração que durante a validação o reservatório de Jovim encontra-se simultaneamente a receber e enviar água, não é possível aferir com confiança qual a origem das diferenças geradas, isto é, se a origem advém de erros de leitura dos caudalímetros de entrada ou dos de saída.

No seguimento da rede do subsistema Lever – Norte, encontra-se o reservatório de Ramalde. No decorrer do período das horas de ponta, o reservatório de Ramalde (ver Anexo B-1.), em condições normais, não recebe água do reservatório de Jovim (ver Tabela 4.17), uma vez que as elevatórias se encontram paradas. Partindo do princípio que durante este período a elevatória para Rans (ver Figura 4.3) se encontra parada, o reservatório abastece apenas os pontos de entrega compreendidos entre o reservatório de Ramalde e Pedrouços e, ainda, um dos pontos de entrega de Gondomar com o código “PE365”.

Em valores médios diários, a perda no período compreendido entre as 10:00 e as 12:00 horas apresenta um volume de  $118 \text{ m}^3$ , volume que representa 2,32% do volume médio de saída neste período, que corresponde a  $5.075 \text{ m}^3$ . No período da tarde, a perda apresenta um volume médio de  $217 \text{ m}^3$ , valor que corresponde a 3,05% do volume médio de saída neste período,  $7.102 \text{ m}^3$ .

Tabela 4.17 – Ensaio hora de ponta para o reservatório de Ramalde.

Horas de Ponta (hora)	Volume Médio de Entrada ( $\text{m}^3$ )	Volume Médio de Saída ( $\text{m}^3$ )	Variação Média de Volume ( $\text{m}^3$ )	Perda Média ( $\text{m}^3$ )
10 -12	256	5.075	-4.937	118
19 - 21	0	7.102	-7.318	217

Analisando os resultados obtidos, com mais detalhe (ver Anexo B-1.) verifica-se que no dia 8 de março, no período de ponta da manhã, o reservatório de Ramalde recebeu água com origem do reservatório de Jovim contudo, neste período o volume de saída também é superior, sendo neste caso o valor da perda distinto dos restantes.

Verifica-se ainda que as perdas são superiores durante o período da tarde, das 19:00 às 21:00 horas, sendo que este aumento poderá ser explicado por uma variação de nível superior no reservatório, dado que os

níveis neste período são mais baixos, estando assim a análise sujeita aos erros dos medidores de nível do reservatório, uma vez que os mesmos medem a distância do topo, onde estão instalados, em relação à superfície livre da água, pelo que um erro percentual corresponderá a uma maior diferença.

Considerando que os medidores de nível se encontram a funcionar corretamente, é possível inferir uma hipótese alternativa, com enfoque na existência de indícios de que o caudalímetro de saída de Ramalde, com o código “362”, reporta valores inferiores aos valores reais, uma vez que os volumes medidos são inferiores à variação de volume no reservatório.

Voltando a atenção para a linha Ramalde-Pedrouços, ver Figura 4.3, analisou-se o reservatório de Monte Pedro (Ver Anexo B-2.). Este reservatório durante as horas de ponta não recebe água da estação elevatória de Vale de Ferreiros mas, continua a abastecer os pontos de entrega de Valongo, “PE400” através de uma conduta gravítica e, pontualmente, o ponto de entrega de Feiteira, “PE407”, com recurso a uma sobrepessora (ver Figura 4.3). Os resultados obtidos encontram-se agrupados na Tabela 4.18.

Tabela 4.18 – Ensaio hora de ponta para o reservatório de Monte Pedro.

Horas de Ponta (hora)	Volume Médio de Entrada (m <sup>3</sup> )	Volume Médio de Saída (m <sup>3</sup> )	Variação Média de Volume (m <sup>3</sup> )	Perda Média (m <sup>3</sup> )
10 -12	0	543	-535	-8
19 - 21	0	810	-762	-48

Da análise da Tabela 4.18 pode concluir-se que o volume considerado como perda é superior no período compreendido entre as 19:00 e as 21:00 horas, estando a origem desta diferença atribuída às diferenças de níveis nos reservatórios.

Com base nos resultados obtidos, é ainda possível inferir que em média, no período da manhã, existe uma diferença de -8m<sup>3</sup>, que comparando com o volume médio de saída, 543m<sup>3</sup>, representa uma diferença de 1,45%. No período da tarde o volume de saída médio é de ordem superior, 810m<sup>3</sup>, o que por si só eleva a percentagem de água perdida para 6,02%, o que corresponde a um volume de -48m<sup>3</sup>.

Da análise dos dados depreende-se igualmente que existe a possibilidade dos caudalímetros de saída estarem a sobrevalorizar o volume de saída.

Por fim, para terminar o ensaio relativamente ao subsistema Lever-Norte, foi analisado o reservatório de Pedrouços (ver Anexo B-3.), encontrando-se os resultados obtidos expostos na Tabela 4.19. Desta análise, verifica-se que o reservatório de Pedrouços aquando as horas de ponta continua a ser abastecido, em regime gravítico, pelo reservatório de Ramalde e, por sua vez abastece a linha da Circunvalação e o ponto

de entrega da Maia (ver Figura 4.3). O volume de entrada é monitorizado pelo caudalímetro com o código “430”, sendo as saídas monitorizadas pelos caudalímetros “433” e “435”.

Tabela 4.19 – Ensaio hora de ponta para o reservatório de Pedrouços.

Horas de Ponta (hora)	Volume Médio de Entrada (m <sup>3</sup> )	Volume Médio de Saída (m <sup>3</sup> )	Variação Média de Volume (m <sup>3</sup> )	Perda Média (m <sup>3</sup> )
10 -12	1.822	6.654	-4.513	-319
19 - 21	2.524	6.965	-4.273	-168

Da análise da Tabela 4.19, foi aferido uma diferença no período da manhã de -319m<sup>3</sup>, volume que representa 4,79% do volume médio de saída do reservatório, 6.654m<sup>3</sup>. Quanto ao período da tarde, compreendido entre as 19:00 e as 21:00 horas, as diferenças assumem um valor mais reduzido, -168m<sup>3</sup>, face ao volume médio de saída, 6.965m<sup>3</sup>. Em termos percentuais denota-se que as diferenças representam 2,41% do volume médio de saída.

Tendo por base os dados obtidos é possível ainda concluir que a diferença é mais acentuada durante o período da manhã, quando o volume de entrada é mais reduzido.

Os resultados obtidos validam a suspeita de que o caudalímetro de entrada, com o código “430”, se encontra a reportar um valor inferior ao real, uma vez que os valores por ele reportado seriam de uma ordem muito baixa, prevendo-se, assim, um erro nas medições do caudalímetro causada pela desregulação dos parâmetros do mesmo.

Voltando o enfoque para o primeiro reservatório do subsistema Lever – Sul, o reservatório de Lagoa (ver Figura 4.4), verifica-se através da Tabela 4.20 (ver Anexo B-4.) que nos períodos das horas de ponta os grupos de bombagem da ETA de Lever se encontram parados, uma vez que não existe volume de entrada contabilizado nesta situação. Assim sendo, este ensaio avalia apenas os volumes de saída controlados pelos caudalímetros de saída, designadamente o caudalímetro com o código “930” que monitoriza a saída gravítica para o reservatório de Jovim e o caudalímetro com o código “931” que avalia os volumes de água elevados pela estação de bombagem de Lagoa para Seixo-Alvo. (ver Figura 4.4)

Tabela 4.20 – Ensaio hora de ponta para o reservatório de Lagoa.

Horas de Ponta (hora)	Volume Médio de Entrada (m <sup>3</sup> )	Volume Médio de Saída (m <sup>3</sup> )	Variação Média de Volume (m <sup>3</sup> )	Perda Média (m <sup>3</sup> )
10 -12	0	8.808	-9.013	205
19 - 21	0	8.529	-8.668	139

Da análise dos resultados, verifica-se a existência de uma perda média diária de  $205\text{m}^3$  no período compreendido entre as 10:00 e as 12:00 horas, volume que representa 2,32% do volume médio de saída,  $8.808\text{m}^3$ . No que concerne o período da tarde, verifica-se a existência de uma perda média de  $139\text{m}^3$ , valor que representa 1,63% do volume médio de saída,  $8.529\text{m}^3$ .

Neste sentido, pode concluir-se que as perdas são mais evidentes no período da manhã, sendo que em ambos os períodos em análise existe a possibilidade dos caudalímetros de saída se encontrarem a efetuar uma leitura errónea dos dados, com tendência a reportar valores inferiores aos expectáveis.

Por forma a concluir as validações, as entradas e saídas do reservatório de Seixo Alvo foram alvo de análise (ver Anexo B-5.). Os resultados obtidos aquando das horas de ponta encontram-se expressos na Tabela 4.21, sendo de notar que durante o ensaio o reservatório de Seixo Alvo não se encontrava a ser abastecido pela ETA de Lever, mas apenas pela estação elevatória de Lagoa. Assim, da análise do volume de saída, verifica-se que não é enviada água para o reservatório do Alto do Marquinho (ver Figura 4.4), uma vez que a estação elevatória monitorizada pelo caudalímetro com o código “011” não reporta volumes nos intervalos analisados. Assim sendo, o volume de saída é composto pelo somatório dos pontos de entrega com os códigos “010”, “015”, “016” e “017” (ver Figura 4.4).

Tabela 4.21 – Ensaio hora de ponta para o reservatório de Seixo Alvo.

Horas de Ponta (hora)	Volume Médio de Entrada ( $\text{m}^3$ )	Volume Médio de Saída ( $\text{m}^3$ )	Variação Média de Volume ( $\text{m}^3$ )	Perda Média ( $\text{m}^3$ )
10 -12	3.270	5.047	-1.609	-169
19 - 21	2.613	4.226	-1.541	-71

Com base nos resultados obtidos (ver Tabela 4.21) determinou-se uma diferença média de  $-169\text{m}^3$  no período da manhã, volume que representa 3,34% do volume médio de saída,  $5.047\text{m}^3$ . Focando o período de ponta da tarde, determinou-se uma diferença média de  $-71\text{m}^3$ , valor que quando comparado com o volume médio de saída,  $4.226\text{m}^3$ , representa 1,70% deste volume.

Desta análise, ver Anexo B-5., é ainda de salientar que no período da manhã do dia 8 de março denotou-se que um dos valores que não se enquadrava na mesma gama dos restantes, o que por si só poderia deturpar o valor médio. Neste sentido, resolveu-se repetir a análise excluindo o dia 8 de março. Nesta segunda análise, as diferenças assumem volume de  $-59\text{m}^3$  e  $-61\text{m}^3$  aquando o período da manhã e tarde respetivamente, o que em termos percentuais representa uma diferença de 1,18% e 1,46%. As diferenças verificadas nos dois períodos temporais podem ser compreendidas pela oscilação dos níveis do reservatório uma vez que durante a manhã os níveis são inferiores aos registados no período da tarde, podendo desta forma induzir erros nas medições.



Com base nos resultados obtidos constata-se que os volumes determinados pelos caudalímetros apresentam diferenças quando comparados com as variações de nível dos reservatórios. Contudo, dado que o reservatório se encontra simultaneamente a receber e a distribuir água não é possível determinar se o problema reside numa leitura errónea dos caudalímetros de entrada, nomeadamente valores inferiores aos reais, ou nos de saída, a lerem, valores superiores aos reais.

Atendendo aos resultados obtidos na globalidade do ensaio, assumindo o correto funcionamento dos equipamentos de medição de nível, pode inferir-se que diversos caudalímetros apresentam um funcionamento considerado anómalo, sendo, contudo, necessária a realização de um conjunto de ensaios mais particularizados que permitam aferir com rigor quais os caudalímetros que evidenciam irregularidades, tal como descrito no ponto 4.2.3.

#### 4.2.2 Quadro Síntese

Dada a extensão das análises, na Tabela 4.22, são apresentados os valores médios determinados como perdas para cada uma das análises realizadas para os reservatórios em estudo, permitindo desta forma, observar o panorama geral dos reservatórios do subsistema Lever-Norte como um todo. Na Tabela 4.22, é ainda apresentado um comentário geral acerca do funcionamento de cada reservatório em estudo.

Tabela 4.22 – Síntese das análises realizadas para os principais reservatórios do subsistema Lever-Norte, Lagoa e Seixo Alvo.

Reservatório	Perda Média (m³)		Resultado das Análises	
	Validação Diária	Validação Horas de Ponta		
		10 - 12 horas		19 - 21 horas
Jovim	2.031	-7	172	Funcionamento anómalo evidente de equipamentos de medição, não sendo possível identificar a origem das diferenças registadas.
Ramalde	-295	118	217	Funcionamento anómalo dos caudalímetros de entrada e/ou saída, e possível erro dos medidores de nível.
Monte Pedro	272	-8	-48	Possível subvalorização dos volumes pelo caudalímetro de saída.
Pedrouços	-8.865	-319	-168	Funcionamento anómalo evidente de equipamentos de medição, existindo indícios de o problema se circunscrever ao caudalímetro de entrada do reservatório.
Lagoa	327	205	139	Funcionamento anómalo dos caudalímetros, existindo a possibilidade de subvalorização dos volumes pelos caudalímetros de saída.
Seixo Alvo	-151	-169	-71	Funcionamento anómalo evidente de equipamentos de medição, não sendo possível identificar a origem das diferenças registadas.

Os valores aferidos como perda, de acordo com a expressão 4.1, para cada reservatório são valores aproximados, uma vez que estes são afetados pela incerteza ou erro dos equipamentos de medição.

Desta forma, foram calculadas as incertezas associadas a cada uma das análises realizadas, sendo expostos na Tabela 4.23 os resultados obtidos.

Para a determinação da incerteza, de acordo com a expressão 3.4, foram considerados os volumes de entrada e saída contabilizados pelos caudalímetros e as variações de nível registadas pelos medidores de nível, admitindo como incerteza:

- 1% do volume contabilizado por caudalímetros eletromagnéticos tubulares;
- 4% do volume contabilizado por caudalímetros eletromagnéticos de inserção (caudalímetro que monitoriza a entrada em Pedrouços);
- 0,25% do volume resultante da variação de nível.

Tabela 4.23 – Comparação entre as perdas médias obtidas para cada análise e a incerteza associada.

Reservatório	Perda Média (m <sup>3</sup> )			Incerteza (m <sup>3</sup> )		
	Validação Diária	Validação Horas de Ponta		Validação Diária	Validação Horas de Ponta	
		10 -12 horas	19 - 21 horas		10 -12 horas	19 - 21 horas
<b>Jovim</b>	2.031	-7	172	2.332	60	58
<b>Ramalde</b>	-295	118	217	1.994	52	73
<b>Monte Pedro</b>	272	-8	-48	112	6	8
<b>Pedrouços</b>	-8.865	-319	-168	2.493	99	123
<b>Lagoa</b>	327	205	139	1.292	91	88
<b>Seixo Alvo</b>	-151	-169	-71	1.215	60	50

Verifica-se da análise da Tabela 4.23, que os volumes apurados como perda na validação diária nos reservatórios de Jovim, Ramalde, Lagoa e Seixo Alvo são inferiores aos valores associados à incerteza da medição dos equipamentos. As perdas médias, determinadas na validação diária, para os reservatórios de Monte Pedro e Pedrouços, apresentam volumes superiores aos calculados para a incerteza pela expressão 3.4, evidenciando o funcionamento anómalo de algum equipamento de medição.

As incertezas determinadas para as validações efetuadas nas horas de ponta, apresentam genericamente valores inferiores aos valores calculados com perda nos dois períodos em análise denotando-se assim, a possibilidade de existirem equipamentos de medição com funcionamento anómalo.

### 4.2.3 Caudalímetros

Partindo do pressuposto que as duas primeiras validações não conduziram a resultados conclusivos, emerge a necessidade de se efetuarem novas validações, desta vez, em condições controladas e com

menos variáveis a serem consideradas. Desta forma, é possível determinar, com um maior grau de precisão, se os caudalímetros se encontram com funcionamento anómalo. Com este propósito, foram selecionados determinados períodos temporais que garantam condições favoráveis a essas validações. Assim, consideraram-se os volumes contabilizados pelos caudalímetros, em análise na base de dados da “Águas do Norte, S.A.”, e os níveis registados pelos reservatórios do sistema como critério de seleção dos períodos em análise.

#### 4.2.3.1 “930” – Saída Gravítica Lagoa

Com o propósito de validar o caudalímetro de saída de Lagoa, com o Código “930” (ver Figura 4.3), foi analisado o período entre as 20:00 horas do dia 2 de abril e as 1:00 horas do dia seguinte (ver Anexo C-1.). Neste período, o reservatório não se encontrava a receber água e, a estação elevatória para Seixo Alvo (ver Figura 4.4), monitorizada pelo caudalímetro com o código “931”, encontrava-se parada. Nesta situação, toda a variação do volume, gerada pela variação dos níveis no reservatório, teria de corresponder ao volume totalizado pelo caudalímetro “930”.

Desta forma, foram registados os níveis no intervalo mencionado, e posteriormente, determinadas as variações dos volumes correspondentes, em intervalos de meia hora. Comparando as variações dos volumes no reservatório, com o volume registado pelo caudalímetro “930” foi possível quantificar a diferença, estando os resultados obtidos expressos na Tabela 4.24.

Tabela 4.24 – Análise da saída gravítica de Lagoa – “930”.

Dia/Horas	$\Delta$ Volume Níveis Médio (m <sup>3</sup> )	Volumes Médios 930 (m <sup>3</sup> )	Perda Média (m <sup>3</sup> )
02-abril			
20:00 – 01:00	1.327	1.311	-15

Partindo da análise da Tabela 4.24 denota-se que os volumes registados, a cada meia hora, pelo caudalímetro “930” são em média inferiores, em 15m<sup>3</sup>, quando comparados com os volumes gerados pelas diferenças de níveis no reservatório de Lagoa no mesmo período.

Considerando que as células do reservatório de Lagoa apresentam uma área de 6.600m<sup>2</sup>, uma diferença média de 15m<sup>3</sup>, representa uma variação inferior a 0,01m. Esta variação de nível enquadra-se na gama de incerteza do medidor de nível ultrassónico instalado nas células do reservatório, uma vez que o equipamento apresenta um erro máximo admissível de 0,01m, quando considerada toda a altura disponível para o armazenamento de água.

Assim, pode concluir-se que o caudalímetro “930” encontra-se em correto funcionamento, dado que os volumes contabilizados por este diferem em média 0,01% dos volumes gerados pela variação de nível.

Este dado, em conjunto com a informação resultante das análises anteriores (ver Tabela 4.14 e Tabela 4.20), parece indicar que o caudalímetro da estação elevatória para Seixo Alvo, com o código “931”, se encontra a contabilizar um valor inferior ao espectável, visto as diferenças assumirem valores superiores quando o caudalímetro “931” se encontra em funcionamento.

Desta forma, analisando os valores reportados pelo caudalímetro “931” nos períodos do ensaio das horas de ponta, ver Tabela 4.20, denota-se que, em média, o caudalímetro contabiliza aproximadamente  $3.000\text{m}^3$  em cada período de duas horas. Sendo assim, tratando-se de um caudalímetro eletromagnético tubular, com uma imprecisão máxima admissível de 1% (ver Tabela 3.1), a variação máxima de volume aceitável para este caudalímetro seria de aproximadamente  $30\text{m}^3$  em duas horas. Contudo, nos períodos em análise obtiveram-se perdas com valores muito superiores,  $205\text{m}^3$  e  $139\text{m}^3$ , respetivamente nos períodos da manhã e tarde.

#### **4.2.3.2 “312” e “360” – Estação elevatória de Jovim**

Os resultados obtidos das validações realizados no reservatório de Jovim (ver Tabela 4.10 e Tabela 4.16), não permitiram aferir qual a origem das perdas confirmadas, no entanto foram assinalados erros de medição como resultado das variações de níveis nos reservatórios de Lagoa e Jovim.

Com o objetivo de averiguar se o problema reside num funcionamento anómalo das elevatórias de Jovim, estas foram alvo de validação. Assim, durante os dias 22 e 24 de junho os caudalímetros com os códigos “312” e “360” foram analisados. Durante este período as condições de funcionamento das estações elevatórias variam, mantendo-se as restantes condições aproximadamente idênticas.

No primeiro dia em análise (ver Anexo C-2.), 22 de junho, o volume total elevado de Jovim para Ramalde resulta do somatório dos volumes elevados pelas duas elevatórias, enquanto que, no segundo dia, o volume total provém apenas da estação elevatória monitorizada pelo caudalímetro “312”.

Na Tabela 4.25, apresentam-se, de forma resumida, os caudalímetros considerados na análise, bem como os valores médios contabilizados por estes em cada período de trinta minutos.

Os volumes de entrada no reservatório de Jovim compreendem os volumes de Lever-Montante, monitorizados pelos caudalímetros com os códigos “900” e “901” e o de Lagoa-Jovim, controlado pelo caudalímetro “930”. Os pontos de entrega de Nova Sintra, “350” e “352”, e as estações elevatórias de Jovim, “312” e “360”, perfazem o volume total de saída do reservatório de Jovim. (ver Figura 4.3)

Tabela 4.25 – Resumo dos volumes médios de entrada e saída no reservatório de Jovim com duas elevatórias.

Dia/Hora	Volumes Médios 900 (m³)	Volumes Médios 901 (m³)	Volumes Médios 930 (m³)	Volumes Médios 360 (m³)	Volumes Médios 312 (m³)	Volumes Médios 350 (m³)	Volumes Médios 352 (m³)
22-jun							
13:00 – 09:00	1.425	1.427	1.359	1.195	2.505	87	447

Na Tabela 4.26, podem ser observados os valores médios obtidos durante o ensaio que decorreu no dia 22 de junho.

Tabela 4.26 – Resumo dos resultados obtidos com as duas elevatórias em funcionamento.

Dia/Hora	$\Delta$ Volume Níveis Médio (m³)	Volumes Entrada Médio (m³)	Volumes Saída Médio (m³)	Perda Média (m³)
22-jun				
13:00 – 09:00	-244	4.032	4.234	42

Da análise dos resultados obtidos constatou-se que quando as duas elevatórias de Jovim, “312” e “360”, se encontram a trabalhar em simultâneo, resulta em média uma perda de 42m³ a cada trinta minutos, o que representa 0,99% do volume médio de saída num igual período, 4.234 m³.

Atendendo à totalidade do ensaio, das 13:00 horas do dia 22 de junho até às 9:00 horas do dia seguinte, é observada uma perda de 1.671m³, face aos 169.359m³ de água total que é elevada pelas estações elevatórias para o reservatório de Ramalde.

Os resultados provenientes deste ensaio são coerentes com os obtidos anteriormente no ensaio realizado no reservatório de Jovim (ver Tabela 4.10) que avaliou as perdas médias diárias do reservatório (ver 4.2.1.1). Todavia não é possível aferir qual a origem das perdas verificadas.

Tendo a validação anterior permitido estabelecer uma linha de base, foram analisados os volumes de água movimentados durante o intervalo temporal compreendido entre as 13:00 horas do dia 24 de junho e as 9:00 horas do dia 25 (ver Anexo C-2.), utilizando, para esse efeito, os volumes contabilizados pelos caudalímetros inerentes às entradas e saídas no reservatório de Jovim.

Na Tabela 4.27, podem ser observados os resultados médios obtidos, sendo de notar que o caudalímetro com o código “360”, que monitoriza o volume elevado de uma das estações elevatórias do reservatório de Jovim, não apresenta volumes, uma vez que, durante o ensaio, a estação elevatória se encontrava parada.

Tabela 4.27 – Resumo dos volumes de entrada e saída no reservatório de Jovim com uma elevatória.

Dia/Hora	Volumes Médios	Volumes Médios	Volumes Médios	Volumes Médios	Volumes Médios	Volumes Médios	Volumes Médios
24-jun	900 (m <sup>3</sup> )	901 (m <sup>3</sup> )	930 (m <sup>3</sup> )	360 (m <sup>3</sup> )	312 (m <sup>3</sup> )	350 (m <sup>3</sup> )	352 (m <sup>3</sup> )
13:00 – 09:00	1.241	1.358	1.378	0	3.529	87	450

Comparativamente aos valores obtidos na globalidade da verificação do dia 22 de junho (ver Tabela 4.25), na verificação em análise os volumes contabilizados pelos caudalímetros de entrada, “900”, “901” e “930”, são inferiores em 1,35%, 3.978m<sup>3</sup> no dia 22 de junho face a 4.032m<sup>3</sup> contabilizados no dia 24 de junho.

No que diz respeito às saídas gravíticas, “350” e “352”, em ambas as verificações, os volumes não apresentam diferenças significativas.

Por fim, considerando as verificações realizadas e focando o volume contabilizado pelas elevatórias como um volume total de saída, verifica-se que quando a elevatória monitorizada pelo caudalímetro “360” se encontra parada os volumes médios elevados revelam-se inferiores em 4,63%, isto é, regista-se 3.529m<sup>3</sup> com apenas uma elevatória em funcionamento face aos 3.700m<sup>3</sup> quando se encontram as duas operacionais.

Os resultados obtidos da aplicação da metodologia já referida encontram-se expostos na Tabela 4.28.

Tabela 4.28 – Resultados médios obtidos com uma elevatória em funcionamento.

Dia/Hora	ΔVolume Níveis Médio	Volumes Entrada Médio	Volumes Saída Médio	Perda Média
24-jun	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )
13:00 – 09:00	-139	3.978	4.066	50

Com base na análise efetuada conclui-se que, em média a cada trinta minutos existe uma perda de 50m<sup>3</sup> de água, o que representa 1,23% do volume médio de saída num igual período, 4.066m<sup>3</sup>.

Considerando a globalidade do estudo, das 13:00 horas do dia 24 de junho até às 9:00 horas do dia seguinte, observa-se uma perda de 2.004m<sup>3</sup> face aos 162.652m<sup>3</sup> de água total elevada pelas duas estações elevatórias para o reservatório de Ramalde.

Assim, quando apenas a estação elevatória associada ao caudalímetro “312” se encontra em funcionamento as perdas são superiores em 19,93%, aumentando de 1.671m<sup>3</sup> para 2.004m<sup>3</sup>.

Na Tabela 4.29 encontram-se os volumes totais contabilizados por cada caudalímetro nos períodos em análise permitindo, desta forma, comparar os volumes contabilizados em cada dia.

Tabela 4.29 – Volumes diários de entrada e saída no reservatório de Jovim.

Data	Volumes 900 (m <sup>3</sup> )	Volumes 901 (m <sup>3</sup> )	Volumes 930 (m <sup>3</sup> )	Volumes 360 (m <sup>3</sup> )	Volumes 312 (m <sup>3</sup> )	Volumes 350 (m <sup>3</sup> )	Volumes 352 (m <sup>3</sup> )
22-jun	49.816	57.088	54.376	47.805	100.192	3.498	17.864
24-jun	49.648	54.328	55.128	0	141.152	3.496	18.004

Os volumes reportados por cada caudalímetro, expostos na Tabela 4.29, foram agrupados na Tabela 4.30 sob a forma de volumes de entrada e saída. A estes volumes totais de entrada e saída foi ainda adicionado o volume correspondente à variação de nível no período em consideração. Dispondo destes dados, aplicou-se a expressão 4.1 a ambos os dias em análise, sendo os resultados apresentados na última coluna da Tabela 4.30.

Tabela 4.30 – Volumes parcelares de entrada e saída no reservatório de Jovim.

Data	Volumes Níveis (m <sup>3</sup> )	Total Entrada (m <sup>3</sup> )	Total Saída (m <sup>3</sup> )	Perda (m <sup>3</sup> )
22-jun	-9.750	161.280	169.359	1.671
24-jun	-5.552	159.104	162.652	2.004

Os dados da Tabela 4.30 corroboram a ideia de que as perdas são inferiores quando se encontram em funcionamento ambas as elevatórias, como é o caso do dia 22 de junho, onde a perda assume um valor de 1.671m<sup>3</sup>. Por conseguinte, quando apenas a elevatória associada ao caudalímetro “312” se encontra em funcionamento a perda aumenta para 2.004m<sup>3</sup>. Comparativamente aos volumes totais de saída, estas perdas representam 0,99% e 1,23% respetivamente.

As perdas registadas nos dois dias em análise, 1.671m<sup>3</sup> e 2.004m<sup>3</sup>, correspondem, a variações de nível nas células do reservatório de Jovim de aproximadamente 0,26 e 0,31m, respetivamente. Partindo do pressuposto que os equipamentos de medição de nível instalados nas células do reservatório são do tipo ultrassónico (ver 3.5.3.1), estas variações são superiores ao valor máximo considerado como erro admissível para este tipo de equipamentos, admitindo que estes se encontram a funcionar corretamente.

De acordo com os resultados obtidos e, assumindo que os caudalímetros que monitorizam os volumes de entrada no reservatório de Jovim, bem como os de saída das adutoras gravíticas para Nova Sintra se encontram em correto funcionamento, pode afirmar-se que a elevatória “EE Jovim 2”, monitorizada pelo caudalímetro com o código “312”, se encontra a reportar volumes superiores aos espectáveis. Esta

evidência explica o aumento das perdas no dia em que a “EE Jovim 1”, monitorizada pelo caudalímetro “360”, se encontra parada.

#### 4.2.3.3 “362” – Saída Gravítica de Ramalde

No seguimento das verificações realizadas na rede do subsistema Lever-Norte, o complexo de Ramalde foi alvo de atenção. Esta análise teve por intuito validar o funcionamento do caudalímetro “362”, que monitoriza uma das saídas gravíticas do reservatório e permite controlar os volumes de água que abastecem os pontos de entrega compreendidos entre os reservatórios de Ramalde e Pedrouços e, ainda, parte do município de Valongo.

Para determinar as perdas existentes recorreu-se à expressão 4.4, sendo necessário determinar, previamente, os volumes de entrada e de saída do reservatório, bem como as variações de nível ao longo do período em análise. Assim, os volumes de entrada são resultado do volume elevado pelas duas estações elevatórias em Jovim, monitorizadas pelos caudalímetros “312” e “360”. No que diz respeito ao volume de saída, é resultado do somatório dos volumes contabilizados pelo caudalímetro “368” localizado na elevatória de Ramalde para Rans, do caudalímetro “365” e, pelo caudalímetro em estudo, “362”.

Para atingir o propósito da verificação, e diminuir o número de variáveis a ter em consideração na expressão 4.4, foram estabelecidos períodos para a realização do mesmo, durante os quais as estações elevatórias de Jovim e Ramalde não se encontrassem em atividade.

Assim, o primeiro período em análise decorreu no dia 2 de junho, tendo início às 10:00 horas e apresenta uma duração de 1 hora e 30 minutos. Durante este período foram tidos em consideração os registos na base de dados correspondente aos volumes contabilizados pelos caudalímetros, encontrando-se expostos na Tabela 4.31 os valores registados a cada período de trinta minutos.

Tabela 4.31 – Volumes de entrada e saída no reservatório de Ramalde.

Dia/Hora	Volumes 312 (m <sup>3</sup> )	Volumes 360 (m <sup>3</sup> )	Volumes 362 (m <sup>3</sup> )	Volumes 365 (m <sup>3</sup> )	Volumes 368 (m <sup>3</sup> )
02-jun					
10:00	-	-	-	-	-
10:30	0	0	624	195	0
11:00	0	0	480	192	0
11:30	0	0	480	176	0

Como se pode constatar pela análise da Tabela 4.31, os caudalímetros “312”, “360” e “368” que monitorizam as estações elevatórias de Jovim e Ramalde não reportam quaisquer valores, sendo portanto considerado como nulo o volume de entrada na Tabela 4.32.



Na Tabela 4.32 também constam as variações de volume no reservatório de Ramalde, resultantes da redução do nível de água nas células do reservatório em cada período de trinta minutos.

Tabela 4.32 – Resultados obtidos pelo ensaio no reservatório de Ramalde.

Dia/Hora	Nível (m)		$\Delta$ Variação de Nível (m)		$\Delta$ Volume Níveis (m <sup>3</sup> )	Volumes Entrada (m <sup>3</sup> )	Volumes Saída (m <sup>3</sup> )	Perda (m <sup>3</sup> )
	Célula 1	Célula 2	Célula 1	Célula 2				
02-jun								
10:00	4,4	4,4	-	-	-	-	-	-
10:30	4,18	4,18	-0,22	-0,22	-719	0	819	-100
11:00	3,96	3,95	-0,22	-0,23	-735	0	672	63
11:30	3,74	3,73	-0,22	-0,22	-719	0	656	63

Com a aplicação da expressão 4.1 a cada período em análise denota-se a existência de uma perda média de 9m<sup>3</sup> a cada trinta minutos, correspondente a uma variação de nível inferior a 0,01m, sendo portanto enquadrada dentro das incertezas aceitáveis dos equipamentos de medição de nível ultrassónicos instalados no reservatório.

Perante as perdas verificadas, e com o intuito de alcançar uma maior consistência dos resultados, o ensaio foi alvo de repetição no decorrer dos dias 3 e 6 de junho, com início às 10:00 horas de cada dia e término às 12:00 horas. Nas réplicas da verificação procurou-se garantir que as condições experimentais permanecessem idênticas, sendo, para tal, assegurado que as estações elevatórias de Jovim e Ramalde não se encontravam em funcionamento durante o período em estudo.

Os valores contabilizados pelos caudalímetros no decorrer das verificações, encontram-se resumidos na Tabela 4.33 e na Tabela 4.34, podendo contatar-se que os caudalímetros “312”, “360” e “368” que monitorizam as estações elevatórias não reportam quaisquer valores, sendo, portanto, considerado nulo volume de entrada de água.

Tabela 4.33 – Volumes de entrada e saída no reservatório de Ramalde no dia 3 de junho.

Dia/Hora	Volumes 312 (m <sup>3</sup> )	Volumes 360 (m <sup>3</sup> )	Volumes 362 (m <sup>3</sup> )	Volumes 365 (m <sup>3</sup> )	Volumes 368 (m <sup>3</sup> )
03-jun					
10:00	-	-	-	-	-
10:30	0	0	1.280	187	0
11:00	0	0	1.248	210	0
11:30	0	0	1.152	173	0
12:00	0	0	1.216	96	0

Tabela 4.34 – Volumes de entrada e saída no reservatório de Ramalde no dia 6 de junho.

Dia/Hora	Volumes 312 (m <sup>3</sup> )	Volumes 360 (m <sup>3</sup> )	Volumes 362 (m <sup>3</sup> )	Volumes 365 (m <sup>3</sup> )	Volumes 368 (m <sup>3</sup> )
06-jun					
10:00	-	-	-	-	-
10:30	0	0	912	171	0
11:00	0	0	960	167	0
11:30	0	0	928	164	0
12:00	0	0	1.072	158	0

Neste seguimento, após determinar os volumes de entrada e saída de água no reservatório determinou-se a variação de volume, procedendo-se para tal ao levantamento dos níveis nas células do reservatório. Os dados obtidos no decurso do dia 3 e 6 de junho, encontram-se expostos na Tabela 4.35 e Tabela 4.38, respetivamente.

Tabela 4.35 – Resultados obtidos pelo ensaio no reservatório de Ramalde no dia 3 de junho.

Dia/Hora	Nível (m)		$\Delta$ Variação de Nível (m)		$\Sigma$ Volume (m <sup>3</sup> )	Volumes Entrada (m <sup>3</sup> )	Volumes Saída (m <sup>3</sup> )	Perda (m <sup>3</sup> )
	Célula 1	Célula 2	Célula 1	Célula 2				
03-jun								
10:00	4,81	4,81	-	-	-	-	-	-
10:30	4,37	4,37	-0,44	-0,44	-1.438	0	1.467	-29
11:00	3,94	3,93	-0,43	-0,44	-1.422	0	1.458	-36
11:30	3,49	3,5	-0,45	-0,43	-1.438	0	1.325	113
12:00	3,11	3,11	-0,38	-0,39	-1.258	0	1.312	-54

Tabela 4.36 – Resultados obtidos pelo ensaio no reservatório de Ramalde no dia 6 de junho.

Dia/Hora	Nível (m)		$\Delta$ Variação de Nível (m)		$\Delta$ Volume Níveis (m <sup>3</sup> )	Volumes Entrada (m <sup>3</sup> )	Volumes Saída (m <sup>3</sup> )	Perda (m <sup>3</sup> )
	Célula 1	Célula 2	Célula 1	Célula 2				
06-jun								
10:00	5,14	5,14	-	-	-	-	-	-
10:30	4,83	4,83	-0,31	-0,31	-1.013	0	1.083	-70
11:00	4,47	4,47	-0,36	-0,36	-1.176	0	1.127	49
11:30	4,12	4,13	-0,35	-0,34	-1.127	0	1.092	35
12:00	3,75	3,75	-0,37	-0,38	-1.226	0	1.230	-5

Da análise das tabelas é possível confirma a existência de diferenças, sendo verificado no dia 3 de junho uma diferença média de  $-2\text{m}^3$ , tendo esta aumentado no dia 6 de junho para  $3\text{m}^3$ .

Considerando toda a extensão do estudo, e por forma a aumentar a robustez dos resultados, foram analisados os valores obtidos nos três dias em análise, considerando os volumes como o total dos volumes parcelares, dispondo os resultados obtidos na Tabela 4.37. Pela análise da Tabela 4.37 é possível verificar que no dia 2 de junho a verificação teve a duração de 1:30 horas e nos restantes dias de 2:00 horas.

Tabela 4.37 – Resumo do ensaio ao caudalímetro de saída de Ramalde.

Dia	Horas	Volumes Níveis ( $\text{m}^3$ )	Total Entrada ( $\text{m}^3$ )	Total Saída ( $\text{m}^3$ )	Perda ( $\text{m}^3$ )
02-jun	10:00 - 11:30	-2.173	0	2.147	26
03-jun	10:00 - 12:00	-5.556	0	5.562	-6
06-jun	10:00 - 12:00	-4.543	0	4.532	11

Verifica-se igualmente que no dia 2 de junho, a perda assume um valor de  $26\text{m}^3$  num período de 1:30 horas, volume que representa 1,21% do volume total de saída,  $2.147\text{m}^3$ . Por justaposição, nos dias 3 e 6 de junho as diferenças atingem valores  $-6\text{m}^3$  e  $11\text{m}^3$ , que representam percentualmente 0,11% e 0,24% dos volumes de saída,  $5.562\text{m}^3$  e  $4.532\text{m}^3$ , respetivamente.

Considerando que as células do reservatório de Ramalde possuem  $3.268\text{m}^2$ , os volumes obtidos nas análises como perdas, representam uma variação de nível inferior a  $0,01\text{m}$ , sendo esta variação enquadrada na gama de incerteza do equipamento de medição de nível (ver 3.5.3.1).

Com base nos resultados obtidos, e partindo do pressuposto que o caudalímetro de faturação com o código “365”, evidencia um correto funcionamento, pode aferir-se que o caudalímetro com o código “362”, que monitoriza a saída gravítica que abastece os reservatórios de Monte Pedro e Pedrouços, se encontra em correto funcionamento.

No dia 2 de junho, no período entre as 10:00 as 11:30 horas, foi possível determinar as perdas de acordo com a expressão 4.2, entre o volume contabilizado pelo caudalímetro com o código “362” com o somatório dos volumes contabilizados pelos pontos de entrega compreendidos entre os reservatórios de Ramalde e Pedrouços (ver Figura 4.3). Esta comparação apenas foi possível no dia 2 de junho uma vez que, apenas nesse dia estavam reunidas as condições necessárias para se poderem retirar conclusões. Estas condições compreendiam:

- Estações elevatórias de Jovim e Vale de Ferreiros paradas;

- Entrada no reservatório de Pedrouços fechada;
- Leituras no local do caudalímetro de Venda Nova II “PE385”.

A condição descrita no ponto 3 surge da necessidade de obter os volumes contabilizados pelo caudalímetro com o código “385” nos intervalos em estudo, uma vez que este ponto não dispunha de rede de comunicação no momento em que foi realizado o ensaio.

Os volumes dos caudalímetros necessários para a aplicação da expressão 4.2 foram determinados a cada período de trinta minutos, encontrando-se organizados na Tabela 4.38.

Tabela 4.38 – Volumes contabilizados pelos caudalímetros entre os reservatórios de Ramalde e Pedrouços.

Dia/Hora	Volumes 362 (m <sup>3</sup> )	Volumes 370 (m <sup>3</sup> )	Volumes 385 (m <sup>3</sup> )	Volumes 395 (m <sup>3</sup> )	Volumes 420 (m <sup>3</sup> )	Volumes 425 (m <sup>3</sup> )	Volumes 427 (m <sup>3</sup> )	Volumes 434 (m <sup>3</sup> )
02-jun								
10:00	-	-	-	-	-	-	-	-
10:30	624	116	119	146	26	72	0	170
11:00	480	113	101	0	26	72	0	164
11:30	480	48	91	57	27	68	0	166

Realizou-se o somatório dos vários pontos de entrega inerentes ao ensaio obtendo-se assim os valores necessários para a determinação da perda (ver Tabela 4.39).

Tabela 4.39 – Resultados obtidos da aplicação do ensaio ao caudalímetro “362”.

Dia/Hora	Volumes 362 (m <sup>3</sup> )	∑ PE's (m <sup>3</sup> )	Perda (m <sup>3</sup> )
02-jun			
10:00	-	-	-
10:30	624	649	-25
11:00	480	476	4
11:30	480	457	23
∑	1.584	1.582	2

Da análise da Tabela 4.39 constata-se que na globalidade do ensaio quando comparado o volume do caudalímetro “362”, 1.584m<sup>3</sup>, com o volume resultante do somatório dos pontos de entrega, 1.582m<sup>3</sup>, verifica-se uma diferença de apenas 2m<sup>3</sup>.

Contemplando a propagação da incerteza aos resultados obtidos, através da expressão 3.4, verifica-se que perda pode sofrer flutuações de aproximadamente  $23\text{m}^3$ , considerando que os caudalímetros apresentam uma incerteza de 1%. Desta forma, os volumes medidos pelo caudalímetro “362”, apresentam uma incerteza admissível de aproximadamente  $16\text{m}^3$ , valor que se revela superior à perda registrada.

Assim, de acordo com estes resultados, pode inferir-se o correto funcionamento do caudalímetro “362”, o que corrobora as conclusões do estudo anterior.

#### **4.2.3.4 “430” – Entrada Reservatório de Pedrouços**

Os resultados das verificações anteriores realizadas no reservatório de Pedrouços (ver Tabela 4.13 e Tabela 4.19) apresentavam claros indícios de que o caudalímetro que monitoriza o volume de entrada de água evidenciava problemas de calibração. Neste sentido, foram realizadas análises de acordo com a expressão 4.1 para diferentes dias, antes e após as sucessivas alterações nos parâmetros de medição do caudalímetro.

Nestas análises, o volume de entrada compreende o volume contabilizado pelo caudalímetro “430”, sendo o volume de saída resultado do somatório dos volumes contabilizados pelos caudalímetros “433” e “435”. A variação de nível, por sua vez, é calculada com base nos medidores de nível instalados em cada célula do reservatório de Pedrouços. Resta ainda ressaltar que o caudalímetro “430”, é um caudalímetro eletromagnético de inserção, apresentando, portanto, maiores incertezas nas medições (ver 3.5.1.1), não cumprindo as disposições de instalação definidas na Tabela 3.3. Contudo, este apenas é utilizado para medições internas, não afetando, portanto, os valores utilizados para a faturação.

Os volumes registrados pelos caudalímetros durante esta análise encontram-se expressos na Tabela 4.40.

Num primeiro momento, foi necessário estudar o funcionamento do caudalímetro “430” antes de qualquer intervenção, por forma a estabelecer uma linha de referência do seu funcionamento, permitindo a comparação com os valores obtidos após os ajustes. Assim, e socorrendo-se da expressão 4.1, no decorrer do dia 5 e 6 de março, verificou-se uma perda média diária de  $9.252\text{m}^3$ , valor que corresponde a 13,48% do volume médio diário de saída do reservatório,  $68.616\text{m}^3$  (ver Tabela 4.41). Estes dados reforçam a ideia de que o caudalímetro “430” se encontraria a reportar volumes inferiores aos espectáveis.

No seguimento do estudo em questão, nos últimos dias do mês de março efetuou-se o primeiro ajuste aos parâmetros do caudalímetro, nomeadamente a constante de leitura do equipamento, e, posteriormente nos dias 2 e 3 de abril repetiu-se a verificação. Como é possível observar pela análise da Tabela 4.41, após essa intervenção as perdas sofreram um acréscimo, atingindo um valor médio diário de  $46.172\text{m}^3$ , valor que representa 71,59% do volume médio diário de saída, isto é  $64.497\text{m}^3$ . Com base

nestes resultados torna-se evidente a necessidade de reajustar os parâmetros do caudalímetro “430”, uma vez que se encontraria a reportar volumes superiores aos espectáveis, aproximadamente  $1.900\text{m}^3/\text{hora}$  a mais.

Posto isto, no dia 8 de abril foi efetuado um segundo reajuste aos parâmetros do caudalímetro, analisando-se, posteriormente, os efeitos da intervenção sobre as perdas verificadas. Assim, o estudo decorreu em dois momentos distintos, um primeiro, nos dois dias subsequentes à intervenção, isto dia 9 e 10 de abril, e um segundo após um intervalo temporal de aproximadamente um mês, isto é 3 e 4 de maio. Através da Tabela 4.41 verifica-se que em abril a perda média diária assume um valor de  $6.106\text{m}^3$ , o que se revela inferior à registada em maio  $7.409\text{m}^3$ . Em comparação com o volume médio de saída,  $65.496\text{m}^3$  e  $76.800\text{m}^3$ , as perdas assumem valores percentuais de 9,32% e 9,65% respetivamente.

Tabela 4.40 – Volumes de entrada e saída contabilizados no reservatório de Pedrouços.

Dia	Volumes 430 ( $\text{m}^3$ )	Volumes 433 ( $\text{m}^3$ )	Volumes 435 ( $\text{m}^3$ )
05-mar	64.192	11.997	61.118
06-mar	56.768	12.449	51.668
02-abr	112.400	11.843	54.212
03-abr	109.192	11.928	51.010
09-abr	59.072	12.359	54.484
10-abr	56.976	11.639	52.510
03-mai	69.048	13.202	63.706
04-mai	69.856	13.122	63.570

Tabela 4.41 – Resultados obtidos da aplicação do ensaio.

Dia	$\Delta\text{Volume}$ ( $\text{m}^3$ )	Volume Entrada ( $\text{m}^3$ )	Volumes Saída ( $\text{m}^3$ )	Perda ( $\text{m}^3$ )
05-mar	864	64.192	73.115	-9.787
06-mar	1.367	56.768	64.117	-8.716
02-abr	-1.190	112.400	66.055	47.535
03-abr	1.446	109.192	62.938	44.808
09-abr	-1.464	59.072	66.843	-6.307
10-abr	-1.268	56.976	64.149	-5.905
03-mai	-379	69.048	76.908	-7.481
04-mai	500	69.856	76.692	-7.336

Com base nos resultados obtidos, pode concluir-se que os parâmetros utilizados na calibração do caudalímetro não se revelaram os mais ajustados, uma vez que após as intervenções o caudalímetro “430” continua a reportar valores inferiores aos espectáveis, na ordem dos  $280\text{m}^3/\text{hora}$  por excesso.

Verifica-se assim que o caudalímetro “430” necessita de um novo reajuste, por forma a reportar valores mais próximos aos espectáveis. Porém, aquando da realização do estágio, não foi possível realizar uma nova calibração, derivada a falta de equipamento necessário para interagir com os parâmetros do medidor de caudal.

#### 4.2.3.5 “433” e “435” – Saídas Gravíticas de Pedrouços

Após uma análise do funcionamento do caudalímetro “430”, que monitoriza o volume de água que abastece o reservatório de Pedrouços, revela-se imperativo o estudo do funcionamento dos caudalímetros implementados à sua saída, designadamente os caudalímetros “433” e “435”.

Por forma a evitar a adulteração dos resultados originada pelo enviesamento nas leituras do caudalímetro “430”, o estudo restringiu-se ao dia 7 de março, período durante o qual não se efetuou qualquer fornecimento de água ao reservatório, sendo, portanto, nulo o volume contabilizado pelo caudalímetro “430”. Deste modo, tornou-se possível avaliar com elevado grau de precisão o volume de água contabilizado pelos caudalímetros “433” e “435”, permitindo de igual modo a sua comparação com a variação de volume causada pelas diferenças de níveis no reservatório.

Os registos dos volumes de água contabilizados pelos caudalímetros localizados à entrada e saída do reservatório de Pedrouços, durante o período em que decorreu o ensaio, isto é 9:30 e 12:00 do dia 7 de março, encontram-se evidenciados na Tabela 4.42.

Tabela 4.42 – Volumes de entrada e saída do reservatório de Pedrouços.

Dia/Hora	Volumes 430 (m <sup>3</sup> )	Volumes 433 (m <sup>3</sup> )	Volumes 435 (m <sup>3</sup> )
07-mar			
9:30	-	-	-
10:00	0	383	1.630
10:30	0	376	1.776
11:00	0	369	1.756
11:30	0	367	1.736
12:00	0	363	1.718

Tendo em consideração os volumes na Tabela 4.42 registados a cada 30 minutos e as variações de volume no reservatório de Pedrouços, aplicou-se a expressão 4.1 (ver Tabela 4.43) aos diferentes períodos. Nessa expressão, os volumes de entrada, tal como mencionado anteriormente, são considerados nulos, sendo os volumes de saída resultado do somatório dos volumes contabilizados pelos caudalímetros “433” e “435”.

Os resultados provindos da aplicação da expressão 4.1, possibilitam aferir que os caudalímetros de saída do reservatório de Pedrouços evidenciam um correto funcionamento, uma vez que a perda de 13m<sup>3</sup> obtida durante o período em análise representa apenas 0,12% do volume total de saída, isto é 10.477m<sup>3</sup>. Esta perda, 13m<sup>3</sup>, é assim, o equivalente a uma variação de nível inferior a 0,01m, sendo, portanto,

admissível como o erro associado à incerteza dos medidores de nível ultrassônicos instalados nas células do reservatório.

Tabela 4.43 – Resultados obtidos para o ensaio de Pedrouços no dia 7 de março.

Dia/Hora	$\Sigma$ Volume (m <sup>3</sup> )	Volumes Entrada (m <sup>3</sup> )	Volumes Saída (m <sup>3</sup> )	Perda (m <sup>3</sup> )
07-mar				
9:30	-	-	-	-
10:00	-2.016	0	2.013	3
10:30	-2.155	0	2.152	3
11:00	-2.072	0	2.125	-53
11:30	-2.112	0	2.103	9
12:00	-2.132	0	2.081	51

Atendendo à configuração da rede do subsistema Lever-Norte (ver Figura 4.3) foi ainda possível realizar uma comparação entre o volume contabilizado pelo caudalímetro “435” à saída do reservatório e o somatório dos volumes contabilizados nos pontos de entrega da linha da Circunvalação, permitindo, deste modo, averiguar a existência de perdas ao longo da linha.

Assim, com o propósito de determinar a diferença entre o volume contabilizado pelo caudalímetro “435” e o volume total da linha da Circunvalação, foram recolhidos os volumes contabilizados pelos diferentes caudalímetros ao longo de quatro dias consecutivos do mês de junho. Durante os dias em estudo, os registos foram efetuados em períodos de trinta minutos, com início às 10:00 horas do dia 5 e término às 10:00 horas do dia 8.

Os volumes registados a cada 24 horas, isto é 10:00 horas de um determinado dia e as 10:00 horas do dia subsequente, foram somados e, posteriormente agrupados na Tabela 4.44, possibilitando assim a sua comparação com o volume contabilizado pelo caudalímetro “435”.

De acordo com os resultados provenientes da comparação efetuada, verifica-se que o volume contabilizado pelo caudalímetro “435” é em média 2.09% superior ao somatório dos volumes registados na linha da circunvalação, denotando-se assim a existência de uma perda média diária de 1.253m<sup>3</sup>.



Tabela 4.44 – Resumo dos resultados obtidos de 5 a 8 de junho.

Dia	Volume 435 (m <sup>3</sup> )	Σ Volumes (m <sup>3</sup> )	Perda (m <sup>3</sup> )
5 a 6 de junho	57.526	56.184	1.342
6 a 7 de junho	60.408	59.168	1.240
7 a 8 de junho	61.982	60.804	1.178

Considerando que os caudalímetros utilizados nesta análise são do tipo eletromagnéticos tubulares, é possível, através da expressão 3.4, determinar a incerteza associada aos resultados obtidos. Assim, utilizando um valor médio dos três dias em análise, para os volumes contabilizados pelo caudalímetro “435”, 59.972m<sup>3</sup>, e os caudalímetros da linha da Circunvalação, 58.179m<sup>3</sup>, apurou-se uma variação de aproximadamente 836m<sup>3</sup>.

Desta forma, a perda média verificada nos três dias, 1.253m<sup>3</sup>, poderá corresponder a 2.089 m<sup>3</sup> ou 417 m<sup>3</sup>, considerando a variação como positiva ou negativa, respetivamente. Assim, assumindo que o caudalímetro “435” apresenta, no máximo, uma incerteza de 1%, aproximadamente 600m<sup>3</sup> em média no período em análise, é possível aferir que as perdas verificadas se enquadram dentro da gama de incertezas do equipamento de medição.

Contudo, ao longo do ensaio, denota-se que a perda não é constante, sofrendo a influência dos caudais de dois caudalímetros, nomeadamente o “437” e “510”. Uma leitura atenta dos resultados permite ainda inferir que:

- Apresentando o caudalímetro “437” volumes nulos e, o caudalímetro “510” volumes significativos, as perdas assumem valores negativos;
- Apresentando o caudalímetro “437” volumes significativos e, o caudalímetro “510” volumes reduzidos, as perdas assumem valores positivos superiores à média;
- Apresentado o caudalímetro “510” volumes nulos e, o caudalímetro “437” volumes significativos, as perdas assumem os valores mais elevados de todo o ensaio.

Analisando, com maior detalhe, o caudalímetro “437”, é de notar que quando o ponto de entrega monitorizado por este caudalímetro não apresenta consumos, o caudalímetro regista caudais instantâneos de valor negativo, na grandeza de -90 m<sup>3</sup>/h. Este caudal instantâneo negativo registado ao longo de 8 horas diárias, implica uma redução de 720m<sup>3</sup> de água contabilizados por dia pelo caudalímetro, uma vez que o totalizador realiza a contagem em sentido oposto. De acordo com esta ordem de ideias, pode afirmar-se que o zero do caudalímetro “437” se encontra deslocado do seu valor correto o que

poderá influenciar os resultados obtidos, podendo estar a subvalorizar os volumes contabilizados. Considerando que o zero do caudalímetro “437” se encontra deslocado, ao longo de 24 horas, o desvio poderá assumir valores na ordem de 2.160m<sup>3</sup>.

Constata-se deste modo, a necessidade de realizar avaliações mais pormenorizadas aos caudalímetros em questão, verificando o seu funcionamento uma vez que os volumes contabilizados por estes caudalímetros influenciam, diretamente, o volume considerado como perda na linha da circunvalação. Por restrições temporais, não foi possível, no decorrer do estágio, a realização de verificações adicionais aos caudalímetros em questão.

#### 4.2.3.6 Quadro Síntese

Dada extensão das análises, na Tabela 4.45, são apresentados de uma forma sucinta as conclusões retiradas para cada uma das análises efetuadas para os vários caudalímetros da rede.

Tabela 4.45 – Resumo dos resultados obtidos para as análises dos caudalímetros.

Caudalímetro	Resultado das análises
"930"	Aferido o correto funcionamento do caudalímetro.
"931"	Funcionamento anómalo do caudalímetro, com tendência à subvalorização dos volumes contabilizados.
"312"	Possibilidade de sobrevalorização dos volumes contabilizados pelo caudalímetro.
"360"	Resultados inconclusivos.
"362"	Aferido o correto funcionamento do caudalímetro.
"430"	Funcionamento anómalo do caudalímetro, com tendência à subvalorização dos volumes contabilizados.
"435"	Aferido o correto funcionamento do caudalímetro.

#### 4.2.4 Estação de Tratamento de Água de Lever

Observando atentamente o complexo da ETA de Lever contata-se que este pode ser analisado com recurso à metodologia empregue no estudo dos reservatórios constituintes da rede do subsistema Lever-Norte. A opção por esta metodologia, cujo cerne é a expressão 4.1, demonstra-se viável visto que os volumes de entrada, água captada no rio Douro, e os de saída do complexo se encontram monitorizados por caudalímetros, sendo ainda, registadas as variações de volume no reservatório de água filtrada (RAF) e no reservatório de água tratada (RAT) (ver Figura 4.14).

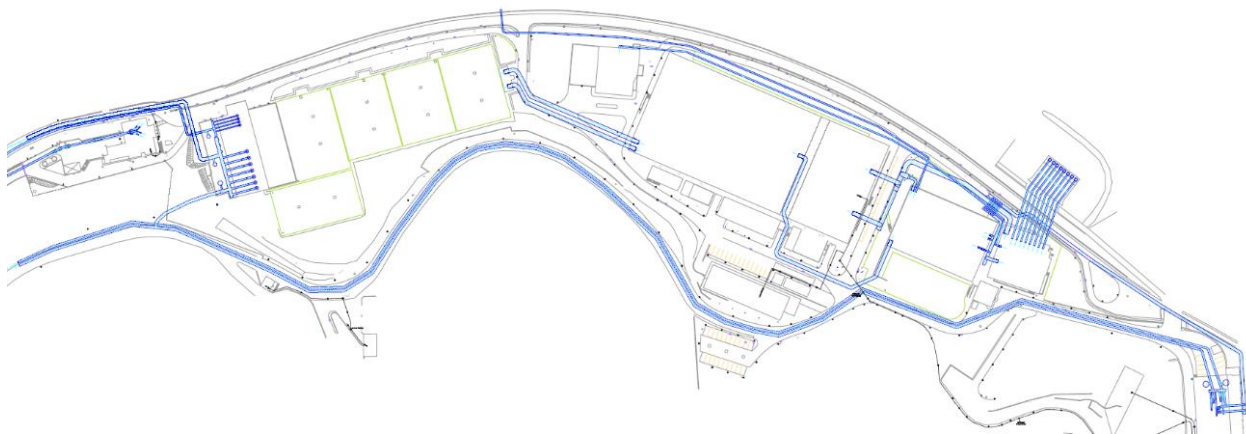


Figura 4.14 – Complexo ETA de Lever.

Desta forma, recorrendo a ensaios específicos foi possível determinar o estado de funcionamento dos caudalímetros que constituem o grupo de bombagem de captação superficial, o grupo de Montante e, ainda, o de bombagem da estação elevatória, que se detalham nos pontos seguintes.

#### 4.2.4.1 Captação Superficial

A água distribuída pela ETA de Lever, tal como referido no ponto 4.1.1, tem a sua origem no rio Douro, sendo a sua captação efetuada através dos grupos eletrobomba da Captação Superficial, ou, da captação sub-aluvionar, poços, de Lever Montante. (ver Figura 4.15 e Figura 4.16).



Figura 4.15 – Captação Superficial.



Figura 4.16 – Poços de captação sub-aluvionar.

A captação de água superficial é realizada com o recurso a seis grupos eletrobomba, cujas características são similares, permitindo a adução da água em estado bruto da albufeira da barragem de Crestuma-Lever para o reservatório de água bruta. Os volumes elevados por cada grupo eletrobomba são monitorizados pelos caudalímetros localizados em cada conduta, mais especificamente numa câmara anexa ao reservatório de água bruta (Figura 4.17).



Figura 4.17 – Caudalímetros dos grupos eletrobomba da captação superficial.

No reservatório de água bruta, a água ainda com impurezas é submetida a diferentes processos físicos e químicos que a tornam apta ao consumo humano, sendo posteriormente armazenada no reservatório de água filtrada e no de água tratada.

As condutas responsáveis pela adução da água bruta, estão em contacto permanente com água que contém partículas sólidas em suspensão, o que possibilita a deposição de sedimentos nas paredes das condutas durante os períodos em que os grupos de bombagem se encontram parados. A acumulação de sedimentos nos caudalímetros, que monitorizam o volume captado por cada grupo eletrobomba, pode originar problemas na determinação do caudal, uma vez que o diâmetro interno da conduta é menor que o diâmetro parametrizado no caudalímetro.

Por forma a demonstrar a veracidade deste pressuposto, procedeu-se à elaboração de uma tabela na qual se relaciona o diâmetro de uma conduta com o respetivo caudal. Para tal, teve-se em consideração que as condutas responsáveis pela adução de água bruta para o reservatório correspondente (i.e., reservatório de água bruta) apresentam um diâmetro interno de 700mm, e que a água se desloca a uma velocidade constante de 1m/s. O caudal, expresso em m<sup>3</sup>/s, foi determinado de acordo com a expressão 4.7.

$$Q = S \times U \quad (4.7)$$

onde:

$S$  — é a área, em m<sup>2</sup>, compreendida pela secção transversal da conduta;

$U$  — é a velocidade da água, em m/s, na conduta.

Tabela 4.46 – Verificação da perda de caudal em função do diâmetro interno da conduta.



Diâmetro interno (mm)		$\Delta$ Diâmetro (m)	Área Secção (m <sup>2</sup> )	Velocidade água (m/s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	$\Delta$ Caudal (m <sup>3</sup> /s)	$\Delta$ Percentual Caudal (%)
D	700	-	0,385	1	0,385	-	-
D1	695	-0,005	0,379	1	0,379	-0,005	-1,42%
D2	690	-0,01	0,374	1	0,374	-0,011	-2,84%
D3	680	-0,02	0,363	1	0,363	-0,022	-5,63%

Da análise da Tabela 4.46, verifica-se que perante uma velocidade de água constante, considerada de 1m/s, como exemplo, verifica-se que, uma redução de diâmetro interno de 5 mm numa conduta com diâmetro de 700mm, origina uma redução de caudal de 1,24% quando comparada com uma conduta de 700mm.

Desta forma, denota-se que um depósito de sedimentos de apenas 0,005m nas paredes da conduta, correspondente a uma diminuição de 0,01m no diâmetro interno na conduta, origina um erro na medição do caudal na ordem dos 2,84%.

Conhecida a influência que os depósitos de sedimentos podem provocar nas leituras dos caudalímetros, foram desmontados dois tramos de conduta a jusante dos caudalímetros dos grupos eletrobomba 1 e 2 da captação, permitindo, desta forma, avaliar a espessura dos depósitos nos caudalímetros e, ainda, nos tramos das condutas adjacentes.

Os critérios utilizados na seleção dos caudalímetros a verificar, pautaram-se pela acessibilidade e representatividade da amostra. Isto é, por um lado apenas estes tramos se encontravam no alcance da lança da grua móvel utilizada, pelo outro, estes representam uma amostra mais completa das variações de medição, uma vez que o caudalímetro do grupo 1 é um dos caudalímetros da captação superficial que reporta maior caudal e, por sua vez, o caudalímetro do grupo 2 é um dos caudalímetros que reporta menor caudal, apesar de ambos os grupos se encontrarem em condições de funcionamento similares.

A intervenção iniciou-se pela remoção dos parafusos que fixam o tramo de conduta marcado na Figura 4.18 com o número 1, sendo posteriormente aparelhados com cintas, Figura 4.19, tornando possível a sua remoção do local com recurso a uma grua móvel, Figura 4.20.

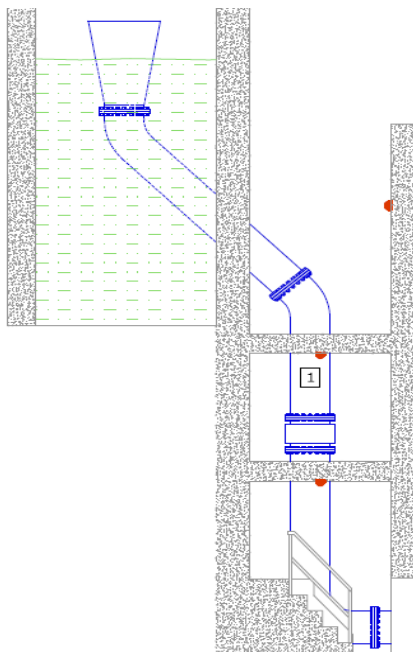


Figura 4.18 – Esquema de montagem do caudalímetro.



Figura 4.19 – Aparelhamento do tramo da conduta.



Figura 4.20 – Remoção tramo da conduta.

Tendo-se removido os tramos de conduta (Figura 4.21), tornou-se possível inspecionar os caudalímetros dos grupos eletrobomba (Figura 4.21) e os tramos de conduta a montante dos caudalímetros (Figura 4.22), possibilitando, de igual modo, a avaliação da espessura dos depósitos, em cada um dos casos.



Figura 4.21 – Caudalímetros dos grupos eletrobomba 1 e 2.



Figura 4.22 – Aspeto da conduta a montante do caudalímetro antes da limpeza.



Figura 4.23 – Aspeto da conduta a montante do caudalímetro após limpeza.



Da inspeção dos caudalímetros concluiu-se que o depósito aglomerado até então formava uma fina camada, contudo suficiente para cobrir os elétrodos responsáveis pela medição do caudal, sendo que os tramos de condutas a montante do caudalímetro apresentavam um recobrimento com uma espessura semelhante. Denota-se ainda que o final do tramo vertical da conduta, mais concretamente a curva a noventa graus, evidenciava o início de uma corrosão, causada pelos detritos acumulado, como areias e partículas em suspensão.

Após detetar a presença de resíduos acumulados, foi necessário proceder à limpeza das condutas dos caudalímetros inspecionados, encontrando-se ilustrado o estado dos diferentes elementos antes e após a intervenção na Figura 4.22 e Figura 4.23.

Terminada a intervenção, procedeu-se à montagem dos elementos, seguindo o processo inverso ao utilizado para a desmontagem.

Após a montagem e, assegurada a inexistência de fugas pelas juntas das flanges de fixação, foram comparados os caudais medidos pelos caudalímetros dos grupos eletrobomba 1 e 2, antes e após o processo de limpeza, não se tendo verificado diferenças significativas entre os valores obtidos nos dois momentos. Este resultado vai de encontro ao expectável dado que o depósito acumulado não evidenciava espessura suficiente para originar uma diminuição de caudal.

Assim, na tentativa de aferir qual a razão do grupo eletrobomba 1 reportar valores de caudais superiores às restantes bombas, idealizou-se um ensaio recorrendo, para isso, a um caudalímetro ultrassónico portátil (Krohne UFM 610P (Krohne, 1999)).

Neste ensaio, o objetivo passou, por determinar o caudal com recurso ao caudalímetro portátil, por forma a que o caudal reportado por este fosse da mesma ordem de grandeza que o reportado pelo caudalímetro da conduta, alterando caso necessário os parâmetros do caudalímetro portátil.

Numa primeira instância, validou-se a leitura do caudalímetro portátil, num tramo reto de conduta compreendido entre o grupo eletrobomba 4 e o respetivo caudalímetro, cumprindo as disposições de instalação referidas no manual ( $20D_n$  e  $10D_n$ , a montante e jusante do caudalímetro, respetivamente). Deste procedimento, foi possível aferir a correta calibração do equipamento, assim dos parâmetros de funcionamento, visto os valores reportados serem da mesma ordem de grandeza que o caudalímetro instalado na conduta. (ver Figura 4.24)

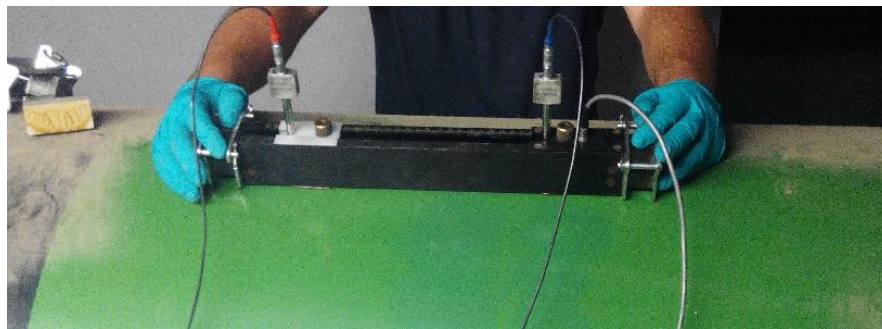


Figura 4.24 – Instalação do caudalímetro portátil no tramo horizontal de conduta.

Posteriormente, e partindo do princípio que todas as condutas apresentam a mesma dimensão e são compostas pelo mesmo material, instalou-se o caudalímetro portátil num tramo vertical da conduta do grupo eletrobomba 1, imediatamente a jusante do caudalímetro da bomba como se observa na Figura 4.17. (ver Figura 4.25 e Figura 4.26)

Contudo, através do caudalímetro portátil não foi possível obter valores estáveis, sendo que os valores reportados sofriam variações na ordem das centenas de litros por segundo. Todavia, o mesmo não se verificava no caudalímetro da conduta, inviabilizando desta forma todo o ensaio. Resta referir que nesta situação, os caudalímetro portátil não cumpria as disposições de instalação fornecidas no manual do equipamento (Krohne, 1999), contrariamente aos caudalímetros instalados na conduta, que cumprem as disposições mínimas definidas no Guia Técnico “Medição de caudal em sistemas de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais urbanas”.

Numa última instância, procurou-se efetuar a medição de um modo diferente, utilizando o caudalímetro portátil com um grupo de elétrodos diferentes, contudo sem sucesso visto os valores obtidos evidenciarem oscilações.



Figura 4.25 – Instalação do caudalímetro portátil no tramo vertical de conduta.



Figura 4.26 – Instalação do caudalímetro portátil no tramo vertical de conduta.



Desta forma, não foi possível avaliar o estado de funcionamento dos caudalímetros dos grupos eletrobomba da captação superficial da ETA de Lever. Contudo, é expectável a repetição do ensaio, em condições de funcionamento similares às existentes aquando do primeiro, respeitando as condições de instalação de modo a que o equipamento de medição portátil reporte valores fidedignos.

#### 4.2.4.2 LPE

A água da captação de Lever Montante (ver Figura 4.27) apresenta características diferentes da água proveniente da captação superficial, uma vez que esta provém de drenos colocados sob o leito do rio Douro nas imediações dos poços de captação (ver Figura 4.28).



Figura 4.27 – Poço Captação Lever Montante.



Figura 4.28 – Poço de captação sub-aluvionar de Lever Montante.

Depois de recolhida pelos drenos, a água é armazenada momentaneamente num poço de grandes dimensões no edifício de Montante sendo, posteriormente, enviada para o subsistema Lever-Norte, com recurso a grupos eletrobomba dispostos no poço. A água elevada de Montante para Jovim (através dos grupos eletrobomba 1 a 6) é apenas sujeita a uma cloragem antes da entrada no reservatório de Jovim uma vez que apresenta características muito próximas de ótimas quando captada.

A água proveniente da captação sub-aluvionar de Lever Montante é ainda encaminhada através dos grupos eletrobomba 7 e 8, denominados LPE, para as infraestruturas de tratamento de água da ETA de Lever. Contudo, tratando-se de água com qualidade superior não necessita de realizar as fases de pré-tratamento, requerendo, portanto, menos recursos para ser tratada.

A água proveniente do LPE, em combinação com a água captada pelos grupos eletrobomba da captação superficial, perfazem o volume total de água que é armazenada no RAF e no RAT, após o tratamento. Assim, dado que ambas as origens da água são monitorizadas por caudalímetros é possível validar o funcionamento dos mesmos através de um ensaio volumétrico, baseado na expressão 4.1, considerando ainda os volumes do Reservatório de Água Filtrada (RAF), os volumes do Reservatório de Água Tratada (RAT) e os volumes elevados pela estação elevatória à saída da ETA de Lever.

Com o propósito de validar o caudalímetro do LPE, foram determinadas as áreas em planta a diferentes alturas das células do RAF e RAT, permitindo, desta forma, aferir uma variação de volume nas células.

Observando a Figura 4.29, verifica-se que o RAF é constituído por duas células, denominadas RAF Norte e RAF Sul, sendo a célula Norte a mais próxima do rio Douro. A célula Norte do RAF contém dois descarregadores com configuração retangular que executam a distribuição da água de uma caleira central para o reservatório, sendo a célula Sul abastecida de forma direta pela caleira central.

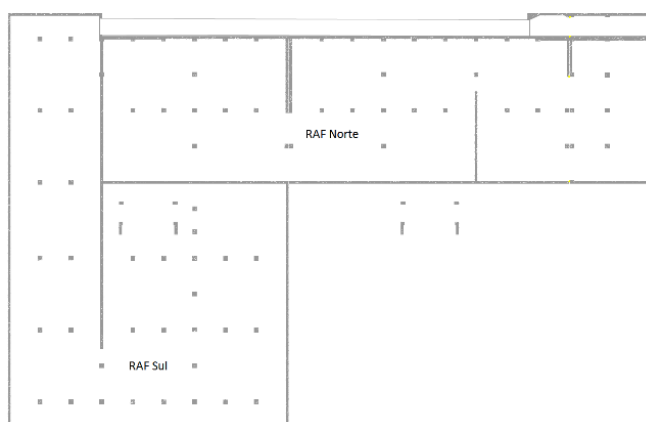


Figura 4.29 – Esquema em planta das células norte e sul do reservatório de água filtrada (RAF).

Na Figura 4.30, encontra-se representado um descarregador da célula Norte do RAF, na qual é possível constatar que as células apresentam configurações diferente em função da altura. Por sua vez, na Figura 4.31 encontra-se uma representação do descarregador, sendo visível na sua parte superior, a caleira central.



Figura 4.30 – Corte transversal das células do RAT.

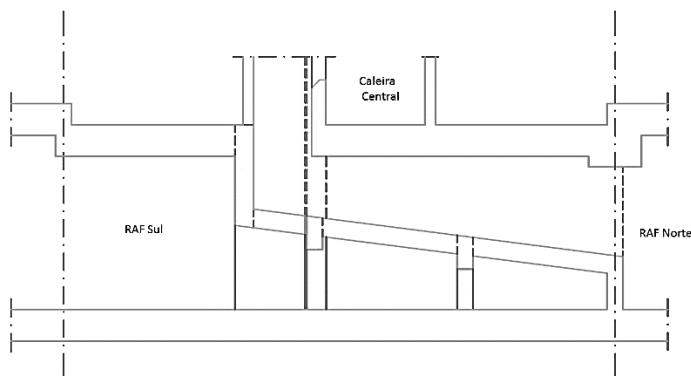


Figura 4.31 – Pormenor da caleira central e do descarregador.

Na Figura 4.32 é representado um corte transversal do RAF Sul, onde é possível observar a conduta que encaminha a água da célula sul do RAF para o RAT, bem como as torres em cada extremidade e, ainda, a caleira central na parte intermédia da figura.

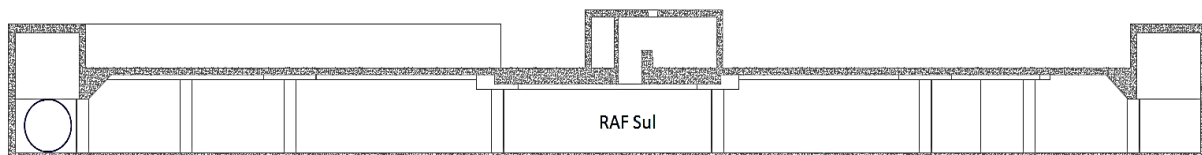


Figura 4.32 – Corte transversal da célula sul do RAF.

Considerando as variações de área das células em função da altura, surgiu a necessidade de avaliar cada uma das células individualmente, realizando medições de área sempre que se verificaram alterações na configuração das células. Assim sendo, foram determinadas as áreas em função da altura da célula Norte e Sul do RAF, do descarregador e da conduta anexa à célula do RAF Sul.

Os valores das áreas obtidas para cada caso, encontram-se dispostos nas tabelas seguintes.

Tabela 4.47 – Áreas  
Célula Norte RAF.

Célula Norte	
Nível (m)	Área (m <sup>2</sup> )
0 - 1,02	1450
1,1	1460,7
1,2	1474
1,3	1487,4
1,4	1500,8
1,5	1514,2
1,53	1518,2
1,55	1520,8
1,56	1522,2
1,6	1527,5
1,7	1540,9
1,8	1554,3
1,86	1562,2
1,87 - 2,29	1562,2
2,3	1548
2,4	1540,4
2,5	1532,8
2,6	1525,2
2,7	1517,6
2,71	1516,8
2,72	1385
2,8	1380,4
2,9	1374,6
3	1366,5
3,1	1360,4
3,11	1359,5
3,12	1256,1
3,2	1252,4
3,3	1245,8
3,31	1243,4
3,32	116,9
3,4	116,9
3,5	116,9

Tabela 4.48 – Áreas  
Célula Sul RAFF.

Célula Sul	
Nível (m)	Área (m <sup>2</sup> )
0-0,71	1581,1
0,72	1580,4
0,8	1575,1
0,9	1568,4
1	1561,7
1,1	1555,4
1,2	1548,7
1,3	1542
1,4	1535,7
1,5	1529,6
1,53	1527,8
1,55 - 2,28	1509
2,29	1477,4
2,3	1366,7
2,4	1361,2
2,5	1356,2
2,6	1351,1
2,7	1346
2,8	1331,2
2,9	1325,9
2,91	1325,5
2,92	986
3	980,7
3,1	972,8
3,11	974,9
3,12	884,6
3,18	881,8
3,19	865,7
3,2	865,2
3,3	860,2
3,31	859,6
3,32-4,5	34,8

Tabela 4.49 – Áreas  
conduta célula Sul do  
RAF.

Conduta	
Nível (m)	Área (m <sup>2</sup> )
0	0
0,1	54,3
0,2	75
0,3	89,5
0,4	100,6
0,5	109,3
0,6	116,2
0,7	121,5
0,8	125,5
0,9	128,3
1	129,9
1,1	130,2
1,2	129,9
1,3	128,3
1,4	125,5
1,5	121,5
1,6	116,2
1,7	109,3
1,8	100,6
1,9	89,5
2	75
2,1	54,3
2,2	0

Tabela 4.50 – Áreas  
descarregador RAF.

Descarregador	
Nível (m)	Área (m <sup>2</sup> )
2,70-2,90	92,3
2,90-3,50	16

Determinadas as áreas do RAF, aplicou-se o mesmo processo às áreas do RAT. A análise da Figura 4.33 permite compreender a constituição do RAT, sendo este composto por quatro compartimentos distintos, nomeadamente, a câmara de entrada, as células norte e sul, e a câmara de aspiração dos grupos eletrobomba da estação elevatória da ETA de Lever. O RAT compreende ainda um corredor central ao longo da parede divisória das células Norte e Sul, encontrando-se conectado por três corredores na direção ortogonal que permitem a ligação ao exterior.

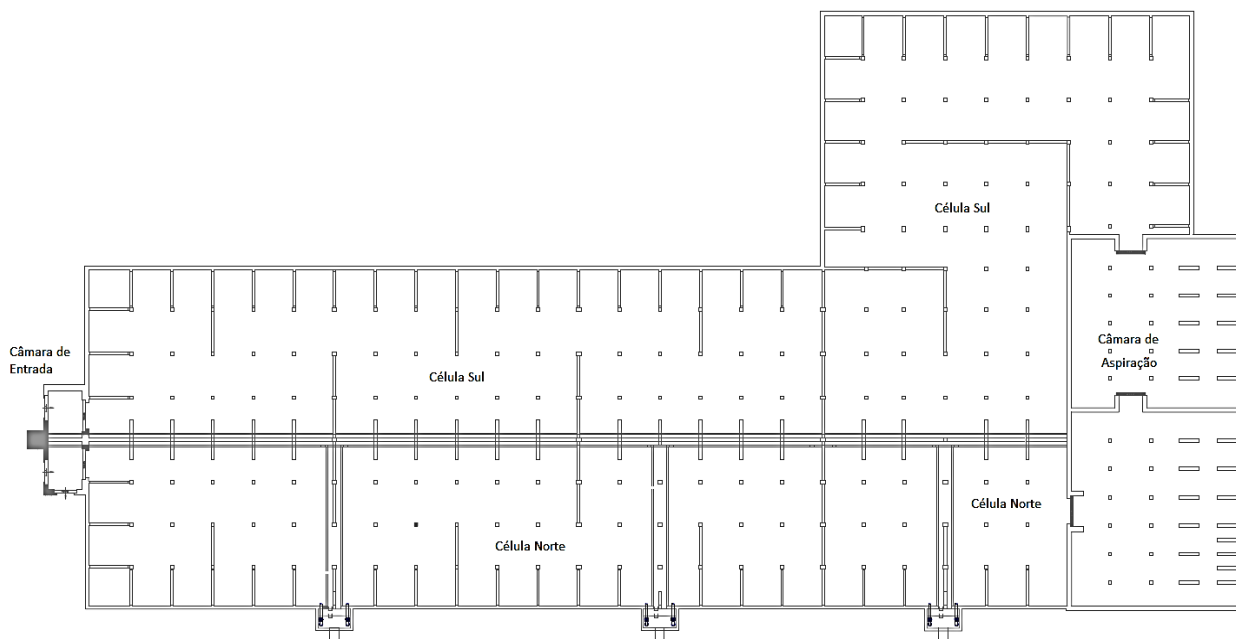


Figura 4.33 – Esquema em planta das células do reservatório de água tratada (RAT).

Na Figura 4.34 é possível observar através de um corte da célula Sul do RAT, parte do corredor central, à esquerda, e ainda os pormenores dos contrafortes utilizados para reforço dos muros exteriores.

Atendendo a que os corredores e reforços fazem variar a área disponível das células em função da altura, procedeu-se à determinação individual das áreas de cada célula, considerando áreas diferentes quando se verificava uma variação da configuração da célula.

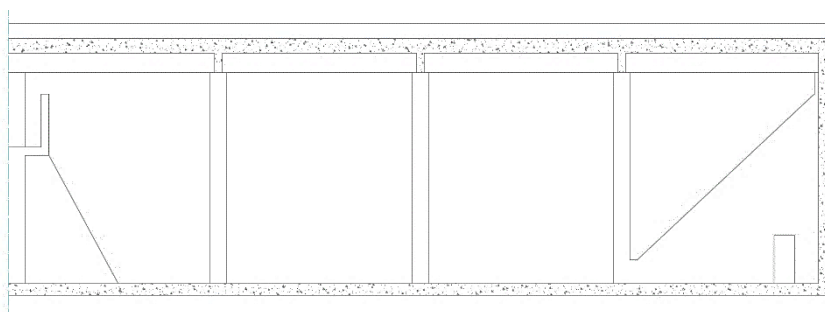


Figura 4.34 – Corte transversal célula Norte RAT.

Os resultados obtidos encontram-se expostos nas Tabelas 4.51 a 4.54.

Tabela 4.51 – Áreas Célula Norte RAT.

Célula Norte	
Nível (m)	Área (m <sup>2</sup> )
0	3529
0,1	3530,2
0,2	3531,3
0,3	3532,5
0,4	3533,6
0,5	3534,8
0,6	3535,9
0,7	3537
0,8	3538,2
0,9	3539,3
1	3540,5
1,1	3541,6
1,2	3542,7
1,3	3543,9
1,4	3545
1,5	3546,2
1,6	3547,3
1,7	3548,4
1,8	3549,6
1,9	3550,7
2	3551,9
2,1	3553
2,2	3554,1
2,3	3555,3
2,4	3556,4
2,5	3557,6
2,6	3558,7
2,7	3559,8
2,8	3561
2,9	3562,1
3	3563,3
3,1	3574,1
3,2	3584,9
3,21	3586
3,22	3511,4
3,3	3512,5
3,4	3514
3,5	3515,6
3,6	3517,1
3,7	3518,6
3,8	3520,2
3,9	3521,7
4	3523,2
4,1	3524,8
4,2	3526,3
4,3	3527,8
4,4	3529,4
4,5	3530,9
4,6	3532,6
4,7	3534

Tabela 4.52 – Áreas Célula Sul RAT.

Célula Sul	
Nível (m)	Área (m <sup>2</sup> )
0	2287,3
0,1	2288,1
0,2	2288,9
0,3	2289,7
0,4	2290,5
0,5	2291,3
0,6	2292,1
0,7	2293
0,8	2293,8
0,9	2294,6
1	2295,4
1,1	2296,2
1,2	2297
1,3	2297,8
1,4	2298,6
1,5	2299,5
1,6	2300,3
1,7	2301,1
1,8	2301,9
1,9	2302,7
2	2303,5
2,1	2304,3
2,2	2305,1
2,3	2306
2,4	2306,8
2,5	2307,6
2,6	2308,4
2,7	2309,2
2,8	2310
2,9	2310,8
3	2311,6
3,1	2312,7
3,2	2313,7
3,21	2313,8
3,22	2144,5
3,3	2144,6
3,4	2145,5
3,5	2146,3
3,6	2147,2
3,7	2148
3,8	2148,9
3,9	2149,7
4	2150,6
4,1	2151,4
4,2	2152,3
4,3	2153,1
4,4	2154
4,5	2154,8
4,6	2155,6
4,7	2156,5

Tabela 4.53 – Áreas Câmara Entrada RAT.

Câmara de Entrada	
Nível (m)	Área (m <sup>2</sup> )
0 - 4	883,4

Tabela 4.54 – Áreas Câmara de Aspiração RAT.

Câmara de Aspiração	
Nível (m)	Área (m <sup>2</sup> )
0 - 3,21	50
3,22 - 4	43,1

Encontrando-se determinadas as áreas do RAF e RAT em isolado, estas foram somadas de acordo com os níveis, sendo posteriormente elaborada uma folha de cálculo (Figura 4.35) que possibilita o cálculo da variação de volume verificada quer no RAF, quer no RAT, de acordo com a curva de variação da área em função da altura, definidos anteriormente e sendo conhecidos os níveis iniciais e finais da célula Sul do RAF.

Inicial		Final		Diferença (m3)
Nível RAF Sul (cm)	3,79	Nível RAF Sul (cm)	3,84	
Volume(m3)	34460,8	Volume(m3)	34798,3	
				337,5

Figura 4.35 – Exemplo de determinação de uma diferença de volumes com recurso à folha de cálculo.

No decorrer da elaboração da folha de cálculo, aquando de uma validação dos medidores de nível, através de uma comparação dos valores reportados pelos medidores de níveis com o valor obtido por uma medição nas diferentes células com recurso a uma vara graduada, constatou-se que os medidores de nível reportavam valores inferiores aos reais. Em ambas as células do RAT e na célula Sul do RAF, os níveis reportados pelos medidores de nível seriam inferiores em 0,13m, e na célula Norte do RAF a diferença assume o valor de 0,10m.

Por conseguinte, de forma a minimizar a diferença existente, os níveis da folha de cálculo foram compensados, podendo desta forma utilizar-se os valores reportados pelos medidores de nível.

Conseguindo apurar a variação de volume gerada no RAF e RAT através da variação de níveis procedeu-se à validação do caudalímetro do LPE. Com este propósito, foram escolhidos períodos nos quais os reservatórios da ETA apenas recebiam água do LPE.

Desta forma, as variáveis da expressão 4.1 passam a compreender apenas os volumes de entrada monitorizados pelo caudalímetro do LPE e a variação de volume dos reservatórios da ETA.

Os valores recolhidos para a realização do ensaio, e os resultados obtidos deste encontram-se expostos na Tabela 4.55.

Tabela 4.55 – Resultados validação do LPE.

Data	Duração (horas)	Níveis RAF Sul (m)		$\Delta$ Volume Níveis (m³)	Volumes LPE (m³)	Diferença (m³/h)
		Inicial	Final			
13-abr	02:30	2,02	4,28	17.957	18.000	17
15-abr	02:00	1,99	3,69	14.267	14.400	66
27-abr	02:30	2,52	4,33	13.422	13.500	31
12-mai	02:30	2,49	4,3	13.510	13.500	-4

Analisando os resultados obtidos pela aplicação da expressão 4.1, verifica-se que, em média, nos períodos em que decorreu o ensaio, o caudalímetro do LPE reporta valores superiores na ordem dos  $28\text{m}^3/\text{h}$ .

Considerando uma área média de  $7.200\text{m}^2$  como o total das áreas dos reservatórios da ETA, esta diferença representa um acréscimo de nível inferior a  $0,01\text{m}$ , podendo assumir a validação do caudalímetro do LPE, uma vez que a variação de nível se enquadra dentro dos parâmetros de incerteza dos medidores de nível.

#### 4.2.4.3 Estação Elevatória

A água armazenada nas células do reservatório de água tratada (RAT) do complexo de Lever é elevada com o recurso a grupos eletrobomba, dispostos numa câmara de aspiração anexa às células do RAT, e, posteriormente, distribuída por três coletores que encaminham a água para os reservatórios de Jovim, Lagoa e Seixo Alvo quando é necessário repor os níveis de água nos respetivos reservatórios (ver Figura 4.36).



Figura 4.36 – Coletor da estação elevatória à saída da ETA de Lever.

Os volumes de água elevados são monitorizados pelos caudalímetros individuais de cada um dos grupos eletrobomba e, ainda, por caudalímetros dispostos no coletor para Lagoa e Seixo Alvo (ver Figura 4.37).

Desta forma é possível aferir eventuais diferenças que existam entre o volume contabilizado pelo caudalímetro colocado no coletor e o somatório dos volumes determinados pelos caudalímetros de cada bomba.



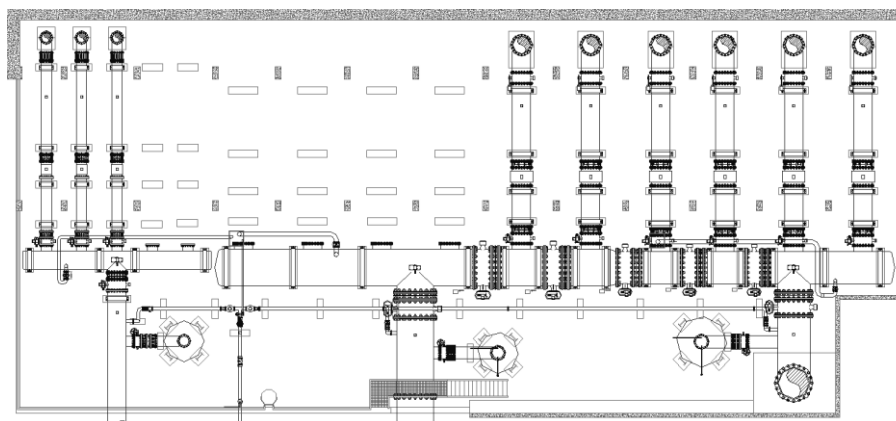


Figura 4.37 – Planta dos coletores e caudalímetros da estação elevatória da ETA de Lever.

Aquando da realização da análise diária para o reservatório de Lagoa, verificou-se que as perdas apresentavam valores com grandes flutuações (ver Anexo A-4.). Posteriormente foram validados os caudalímetros de saída do reservatório de Lagoa (ver ponto 4.2.2.1), determinando que o caudalímetro com o código “930” se encontrava a reportar valores corretos e, o caudalímetro “931” reportava valores inferiores aos expectáveis. Apesar do erro detetado no caudalímetro “931”, este não é suficiente para explicar as diferenças verificadas ao longo da análise diária do reservatório de Lagoa. Como tal, resta avaliar os volumes de entrada no reservatório.

Os volumes de entrada no reservatório de Lagoa correspondem aos volumes elevados pela estação elevatória do complexo de Lever, sendo, desta forma, possível determinar quais os grupos que se encontravam em funcionamento em cada um dos dias em análise bem como, determinar os volumes elevados por cada grupo e realizar a comparação com o caudalímetro do coletor.

Na Tabela 4.56, encontram-se os volumes diários contabilizados pelos grupos eletrobomba, da bomba 10 à bomba 14, e o volume contabilizado pelo caudalímetro do coletor com o código “911”, assim como a diferença gerada entre o volume contabilizado pelo caudalímetro “911” e o volume total das bombas.

Analizando os dados obtidos, e expressos na Tabela 4.56, verifica-se que os volumes contabilizados pelo caudalímetro do coletor, “911”, são sempre inferiores aos volumes totais das bombas.

Constata-se ainda que a diferença é mais acentuada quando se encontram em funcionamento os grupos eletrobomba 13 e 14, originando uma diferença média  $1.496\text{m}^3$ , comparativamente a uma diferença de  $1.153\text{m}^3$  estando os quatro grupos em funcionamento.

As diferenças assumem um valor mais reduzido quando apenas estão em funcionamento os grupos 10 e 11, verificando-se uma diferença média de  $632\text{m}^3$ .

Tabela 4.56 – Comparação entre os volumes do caudalímetro “911” e os grupos eletrobomba.

Dia	Volumes 911 (m³)	Volumes Bomba 10 (m³)	Volumes Bomba 11 (m³)	Volumes Bomba 13 (m³)	Volumes Bomba 14 (m³)	Total Bombas (m³)	Diferença (m³)
01-mar	96.368	23.676	6.648	29.900	37.444	97.668	-1.300
02-mar	92.000	14.500	15.380	35.016	28.376	93.272	-1.272
03-mar	91.152	0	0	52.856	39.832	92.688	-1.536
04-mar	91.744	0	0	40.284	53.000	93.284	-1.540
05-mar	73.840	0	0	24.120	51.064	75.184	-1.344
06-mar	94.960	0	4	4.948	91.632	96.584	-1.624
07-mar	88.992	0	0	36.416	54.048	90.464	-1.472
08-mar	89.568	0	0	49.892	41.136	91.028	-1.460
09-mar	90.592	40.728	20.940	23.560	6.252	91.480	-888
10-mar	95.312	52.404	43.472	0	0	95.876	-564
11-mar	90.688	38.336	53.008	0	0	91.344	-656
12-mar	81.600	20.636	61.604	0	0	82.240	-640
13-mar	104.064	27.700	77.080	0	4	104.784	-720
14-mar	91.376	34.872	57.144	0	0	92.016	-640
15-mar	88.736	56.828	32.452	0	0	89.280	-544
16-mar	91.504	37.268	54.864	0	0	92.132	-628
17-mar	96.800	51.912	45.576	0	0	97.488	-688
18-mar	94.720	36.688	58.712	0	0	95.400	-680
19-mar	67.952	21.284	47.124	0	0	68.408	-456
20-mar	99.936	28.360	72.308	0	0	100.668	-732

Através do gráfico representado na Figura 4.38 verifica-se a conexão entre as perdas verificadas no ensaio diário para o reservatório de Lagoa e as diferenças verificadas entre o caudalímetro “911” e os grupos eletrobombas.

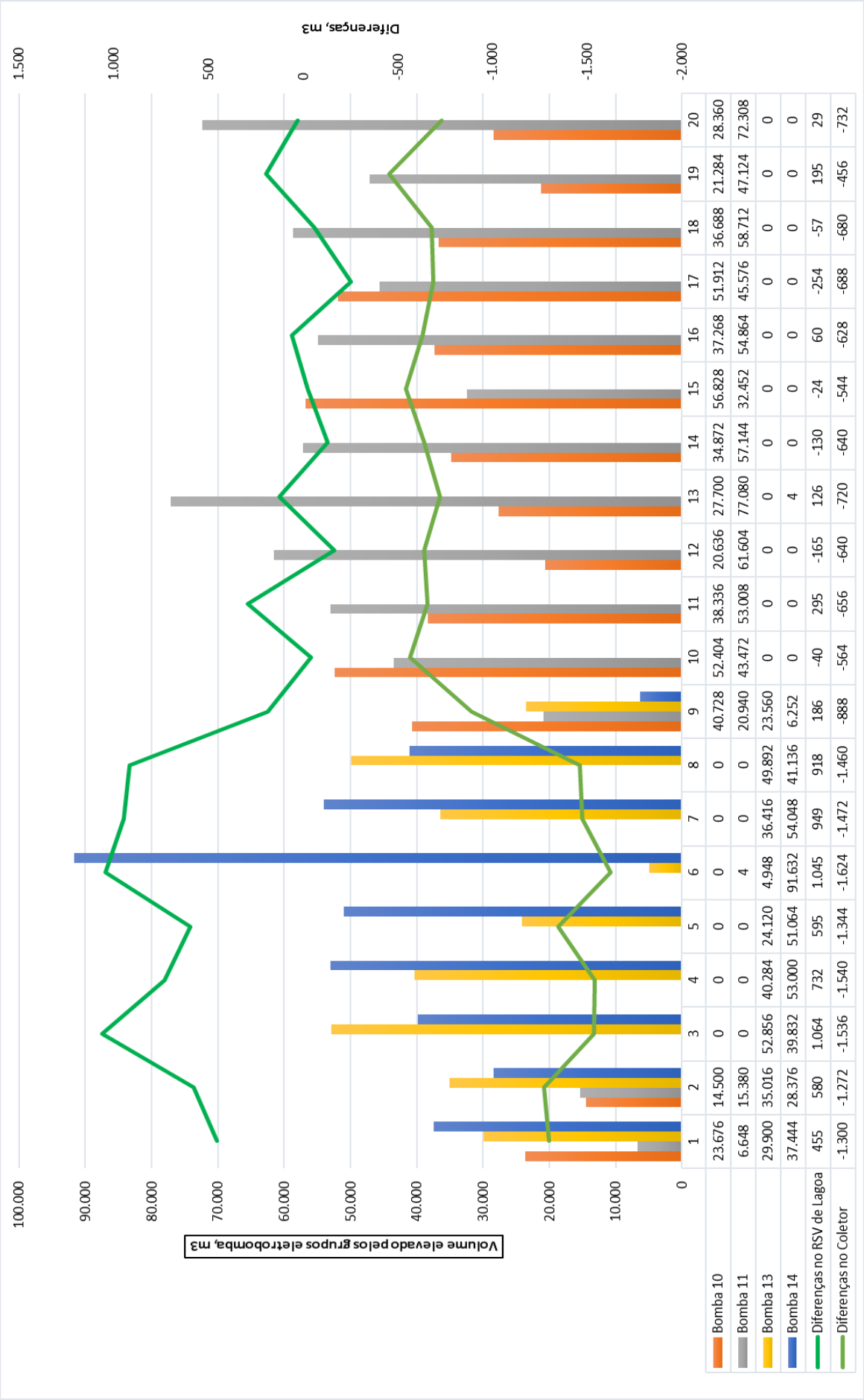


Figura 4.38 – Comparação entre as diferenças verificadas no reservatório de Lagoa e o caudalímetro do coletor ETA-Lagoa “911” nos dias de março, m³.

Da Figura 4.38 depreende-se que as perdas no reservatório de Lagoa são mais elevadas nos dias em que apenas trabalham os grupos 13 e 14, como aconteceu no período entre dia 3 a 8 de março onde as perdas no reservatório apresentam em média um volume de  $884\text{m}^3$ . No outro extremo, verifica-se que quando se encontram em funcionamento apenas as bombas 10 e 11 as perdas no reservatório de Lagoa chegam a atingir valores negativos, tal aconteceu no período compreendido entre os dias 10 e 20 de março, encontrando-se o volume médio de perda nos  $3\text{m}^3$ .

Todavia, quando se encontram os quatro grupos simultaneamente em funcionamento, verifica-se um valor médio de  $407\text{m}^3$ , valor que corresponde aproximadamente a metade do valor da perda média registado com os grupos 13 e 14. Pode assim considerar-se que os caudalímetros dos grupos 10 e 11 atenuam o valor que é registado pelos caudalímetros dos grupos 13 e 14.

Com intuito de validar os dados obtidos, foi realizada uma análise complementar, baseada nos princípios da expressão 4.1, durante um período mais extenso, compreendido entre os meses de janeiro e março. No decorrer desta análise, foi possível determinar simultaneamente as perdas no reservatório de Lagoa e, determinar as diferenças verificadas dos volumes registados entre o caudalímetro do coletor da estação elevatória da ETA de Lever para Lagoa com os volumes totais registados pelos caudalímetros das bombas.

Na Tabela 4.57, encontram-se de uma forma resumida os valores registados ao longo da análise.

Tabela 4.57– Volumes de entrada e saída registados ao longo do ensaio.

Mês	$\Delta$ Volumes Níveis ( $\text{m}^3$ )	Volumes Entrada ( $\text{m}^3$ )	Volumes Saída ( $\text{m}^3$ )	Perda Total ( $\text{m}^3$ )	Perda Média Diária ( $\text{m}^3$ )
jan-16	9.042	2.835.400	2.814.392	11.966	386
fev-16	-13.530	2.668.068	2.646.042	35.556	1.226
mar-16	5.445	2.743.220	2.729.028	8.747	282

A perda total determinada, de acordo com a expressão 4.1, considera o volume de entrada no reservatório como sendo o volume total de água elevado pelos grupos eletrobomba da estação elevatória da ETA de Lever para Lagoa, o volume de saída como o somatório dos volumes contabilizados pelos caudalímetros para Jovim e Seixo Alvo e, a variação de volume gerada pela diferença de níveis nas células do reservatório.

Analisando a Tabela 4.57, denota-se que as perdas são mais acentuadas no mês de fevereiro, perfazendo 1,34% do volume de saída face aos 0,43% e 4,32% nos meses de janeiro e março, respetivamente.

Dando enfoque à estação elevatória da ETA de Lever, elaborou-se a Tabela 4.58, com o intuito de apurar as diferenças existentes entre os volumes contabilizados pelo caudalímetro do coletor para Lagoa, “911”, e o somatório dos volumes elevados por cada uma das bombas, nos períodos entre janeiro e março.

Tabela 4.58– Volumes de entrada e saída de janeiro a março.

Mês	Volumes 911 (m <sup>3</sup> )	Total Bombas (m <sup>3</sup> )	Diferença (m <sup>3</sup> )	Diferença Média Diária (m <sup>3</sup> )
jan-16	2.800.576	2.835.400	-34.824	-1.123
fev-16	2.625.312	2.668.068	-42.756	-1.474
mar-16	2.711.184	2.743.220	-32.036	-1.033

Interpretando a Tabela 4.58, denota-se que os volumes contabilizados pelo coletor são sempre inferiores ao somatório dos volumes contabilizados pelos caudalímetros das bombas. Esta diferença é ainda mais evidente no mês de fevereiro, indo de encontro com os valores constatados para as perdas no reservatório de Lagoa através da Tabela 4.57.

Focando apenas os volumes contabilizados pelos grupos eletrobomba da estação elevatória da ETA de Lever, é possível determinar a percentagem de funcionamento de cada um em função do volume total elevado, permitindo assim aferir quais os grupos com maior taxa de utilização em cada mês. Os resultados obtidos encontram-se esquematicamente representados na Tabela 4.59.

Tabela 4.59– Percentagem de utilização de cada grupo eletrobomba em cada mês.

Mês	Bomba 10 (%)	Bomba 11 (%)	Total Bombas 10 + 11 (%)	Bomba 13 (%)	Bomba 14 (%)	Total Bombas 13 + 14 (%)
jan-16	29,9	24,7	54,5	24,6	20,9	45,5
fev-16	21,7	23,8	45,5	24,2	30,3	54,5
mar-16	22,9	29,4	52,4	21,5	26,1	47,6

Da análise da Tabela 4.59, denota-se que nos meses de janeiro e março, os grupos eletrobomba 10 e 11 apresentam uma taxa de funcionamento ligeiramente superior face à taxa de funcionamento dos grupos 13 e 14, verificando-se o oposto no mês de fevereiro.

Desta forma, elaborou-se a Tabela 4.60, onde se encontram as perdas médias diárias verificadas em cada mês face às diferenças médias verificadas para o coletor.

Tabela 4.60– Perdas verificadas em cada mês.

Mês	Perda Média Diária (m³)	Diferença Média Diária (m³)
jan-16	386	-1.123
fev-16	1.226	-1.474
mar-16	282	-1.033

Os resultados obtidos desta análise, vão de encontro aos resultados verificados anteriormente. As perdas no reservatório de Lagoa são superiores quando os grupos eletrobomba 13 e 14 apresentam maior taxa de funcionamento, verificando-se simultaneamente a maior diferença entre o coletor de Lagoa e as bombas da estação elevatória da ETA de Lever.

Perante estes resultados, emergiu a necessidade de determinar qual a diferença que cada um dos grupos eletrobomba gera para o caudalímetro do coletor de Lagoa, “911”. Com este propósito foram avaliados períodos compreendidos entre janeiro e julho, com duração igual ou superior a duas horas, nos quais os grupos eletrobomba trabalhavam isoladamente, possibilitando, assim, a comparação dos volumes determinados pelos caudalímetros dos grupos eletrobomba com o caudalímetro do coletor, determinando-se a diferença gerada por cada um dos grupos.

Os volumes determinados para os diversos grupos eletrobomba, bem como, os volumes contabilizados pelo caudalímetro “911”, foram agrupados nas tabelas Tabela 4.61 a Tabela 4.66 permitindo determinar a diferença entre o volume contabilizado pelo caudalímetro do coletor e o caudalímetro do grupo eletrobomba.

Tabela 4.61– Ensaio ao grupo eletrobomba 9 da estação elevatória da ETA de Lever.

Data	Duração (horas)	Volume Bomba 9 (m³)	Volume 911 (m³)	Diferença (m³/h)
3-abr	12	47.464	46.832	-53
15-mai	12	47.912	47.168	-62
10-jun	24	96.220	94.624	-67
1-jul	4	15.988	15.712	-69

Tabela 4.62– Ensaio ao grupo eletrobomba 10 da estação elevatória da ETA de Lever.

Data	Duração (horas)	Volume Bomba 10 (m³)	Volume 911 (m³)	Diferença (m³/h)
03-jan	24	93.280	92.800	-20
01-fev	4	15.640	15.584	-14
15-mar	4	15.544	15.488	-14
08-abr	6	23.204	23.104	-17
26-mai	16	62.244	61.936	-19
26-jun	24	93.044	92.432	-26
05-jul	6	23.272	23.104	-28

Tabela 4.63– Ensaio ao grupo eletrobomba 11 da estação elevatória da ETA de Lever.

Data	Duração (horas)	Volume Bomba 11 (m³)	Volume 911 (m³)	Diferença (m³/h)
01-jan	24	94.032	93.152	-37
21-fev	24	94.244	93.472	-32
13-mar	24	94.668	93.920	-31
21-abr	6	23.536	23.312	-37
13-mai	6	23.684	23.472	-35
22-jun	6	23.612	23.360	-42

Tabela 4.64– Ensaio ao grupo eletrobomba 12 da estação elevatória da ETA de Lever.

Data	Duração (horas)	Volume Bomba 12 (m³)	Volume 911 (m³)	Diferença (m³/h)
30-mar	2	7.948	7.792	-78
01-abr	4	15.596	15.280	-79
22-mai	24	94.848	92.912	-81
08-jun	6	23.640	23.136	-84
03-jul	24	95.432	93.424	-84

Tabela 4.65– Ensaio ao grupo eletrobomba 13 da estação elevatória da ETA de Lever.

Data	Duração (horas)	Volume Bomba 13 (m <sup>3</sup> )	Volume 911 (m <sup>3</sup> )	Diferença (m <sup>3</sup> /h)
04-jan	4	15.632	15.392	-60
09-fev	4	15.632	15.328	-76
05-mar	4	15.652	15.424	-57
19-abr	6	23.328	22.928	-67
29-mai	24	93.588	91.968	-68

Tabela 4.66– Ensaio ao grupo eletrobomba 14 da estação elevatória da ETA de Lever.

Data	Duração (horas)	Volume Bomba 14 (m <sup>3</sup> )	Volume 911 (m <sup>3</sup> )	Diferença (m <sup>3</sup> /h)
02-jan	4	15.880	15.600	-70
07-fev	24	95.524	93.776	-73
06-mar	24	94.872	93.152	-72
15-abr	4	15.648	15.360	-72
08-mai	8	31.748	31.200	-69
28-jun	10	39.536	38.816	-72

Numa primeira análise, denota-se a ausência de alguns valores em determinados meses, como é o caso dos meses de janeiro a março no grupo eletrobomba 9, sendo esta ausência explicada pela inatividade da bomba durante este período devido a manutenções ou, devido ao facto de, no período considerado, não se verificar uma duração de funcionamento alongada o suficiente para ser considerada.

Constata-se ainda que, em todos os casos em análise, o caudalímetro do coletor, “911”, reporta valores inferiores aos valores reportados pelos caudalímetros de cada grupo eletrobomba.

Considerando o módulo das diferenças, elaborou-se um gráfico, Figura 4.39, de forma a observar-se a evolução das diferenças ao longo dos períodos em análise.



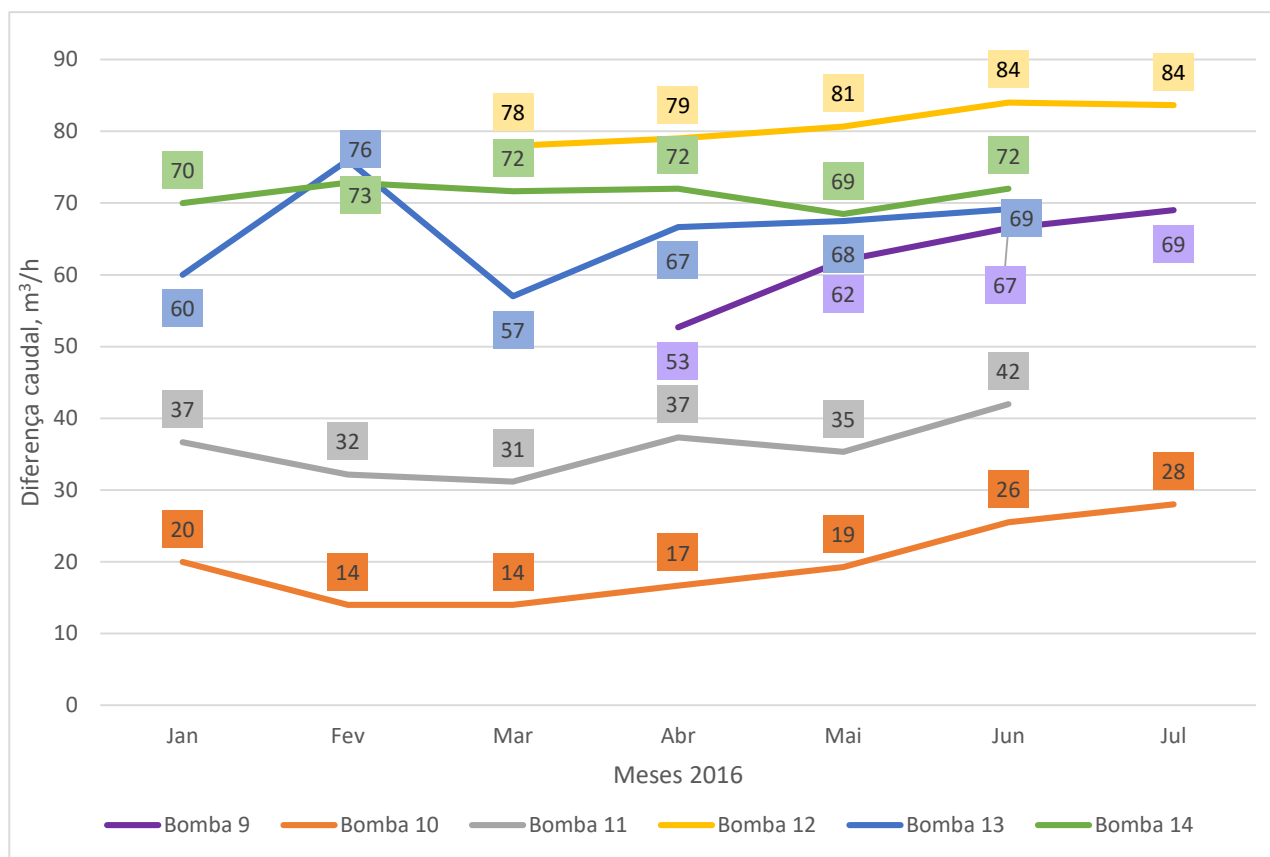


Figura 4.39 – Evolução das diferenças, em  $\text{m}^3/\text{h}$ , para cada grupo eletrobomba da estação elevatória da ETA de Lever.

Pela análise da Figura 4.39, verifica-se uma tendência para as diferenças aumentarem com a passagem do tempo, sendo mais explícita no grupo eletrobomba 9 e, menos evidente no grupo 14.

Pode ainda comprovar-se que os grupos 10 e 11 são os que apresentam as menores diferenças para o caudalímetro “911” sendo o grupo 12 o que evidencia as maiores diferenças.

Analisando os grupos 13 e 14, deteta-se uma diferença consideravelmente superior comparativamente ao grupo 10, chegando a diferença a ser quatro vezes superior à registada no grupo 10. Contudo, o grupo 14 é o grupo que regista uma menor variação ao longo dos períodos em análise.

Voltando o foco para o caudalímetro com o código “912”, responsável pelo controlo do volume de água elevado da ETA de Lever para Seixo Alvo, realizou-se um ensaio baseado na expressão 4.1, ao longo dos meses entre março e maio, com o intuito de aferir qual o seu estado de funcionamento.

Assim, para a aplicação da expressão 4.1, foram recolhidos dados em períodos nos quais, os volumes de entrada no RAF e RAT coincidem com o volume proveniente do LPE, grupos eletrobomba 7 e 8 de Lever-Montante, e, simultaneamente o volume de saída do RAT, corresponde ao volume elevado pelos grupos eletrobomba 22, 23 e 24, monitorizado pelo caudalímetro “912”.

Os dados obtidos para a realização deste estudo, encontram-se expostos na Tabela 4.67.

Tabela 4.67– Ensaio para validação do caudalímetro “912”.

Data	Duração (horas)	Volume LPE (m <sup>3</sup> )	ΔVolume (m <sup>3</sup> )	Volume 912 (m <sup>3</sup> )	Diferença (m <sup>3</sup> /h)
27-mar	2	10.784	4.344	6.208	116
29-mar	2	10.080	3.518	6.256	153
02-abr	2	10.784	6.326	4.256	101
03-abr	4	20.160	7.352	12.400	102
05-abr	2	10.784	4.321	6.224	120
06-abr	2	10.816	4.317	6.208	146
11-abr	2	10.432	4.115	6.192	62
24-abr	2	10.432	3.988	6.208	118
12-mai	3	16.192	6.507	9.312	124

Analisando a Tabela 4.67, depreende-se que o caudalímetro “912”, se encontra a reportar um valor inferior ao esperado dado que os volumes contabilizados pelo caudalímetro do LPE se consideram validados. Denota-se uma diferença média de 116m<sup>3</sup> por hora, valor que representa 1,65% do volume médio de saída, ou, considerando uma área média de 7.182m<sup>2</sup> para as células do RAT e RAF, uma variação de nível de 0,02m.

Dos estudos realizados na estação elevatória da ETA de Lever, conclui-se que, o caudalímetro do coletor que abastece o reservatório de Lagoa, “911”, encontra-se a ler a menos que os caudalímetros dos grupos eletrobomba, e que o caudalímetro do coletor que abastece o reservatório de Seixo Alvo, “912”, está a reportar valores inferiores.

#### 4.2.4.4 Lever-Montante

Tendo sido submetidos a análises os caudalímetros das infraestruturas da captação superficial, parte dos caudalímetros da captação sub-aluvionar de Lever Montante, LPE, e ainda, os caudalímetros da estação elevatória da ETA de Lever, resta analisar os caudalímetros que monitorizam os volumes de água proveniente da captação sub-aluvionar diretamente para o reservatório de Jovim, concretamente os caudalímetros com os códigos “900” e “901”. (ver Figura 4.40)



Figura 4.40 – Coletor do poço de montante e início das condutas DN1000 e DN1200.

Neste seguimento, idealizou-se uma análise que permitisse determinar as perdas no subsistema Lever-Norte. Esta análise foi levada a cabo em períodos temporais distintos, com condições igualmente díspares, permitindo, assim, apurar qual o impacto que os volumes provenientes de Lever Montante, “900” e “901”, possuem nas perdas no sistema adutor.

Essa análise, cuja base se encontra na expressão 4.1, foi desenhada considerando o subsistema Lever-Norte como um todo (ver Figura 4.3), observando os reservatórios de Jovim, Ramalde, Monte Pedro e Pedrouços e, todos os pontos de entrega distribuídos ao longo da rede.

Com o intuito de minimizar os erros nas análises, e conhecendo o funcionamento anómalo das elevatórias de Jovim, considerou-se que o volume de entrada no reservatório de Ramalde corresponde ao total dos volumes de água provenientes do reservatório de Lagoa, monitorizada pelo caudalímetro “930, e da captação sub-aluvionar Lever-Montante, controlada pelos caudalímetros “900” e “901”, sendo a este volume de entrada deduzido os volumes consumidos pelos pontos de entrega de Compostela, supervisionada pelo caudalímetro “300”, e Nova Sintra, monitorizada pelos caudalímetros “350” e “352”.

No que diz respeito aos volumes de saída, estes compreendem os volumes contabilizados pelas saídas monitorizadas pelos caudalímetros “365” e “368” no reservatório de Ramalde, pelos caudalímetros que monitorizam os consumos da linha Ramalde- Pedrouços, e ainda os volumes contabilizados pelos caudalímetros de saída do reservatório de Pedrouços, “433” e “435”.

Para a aplicação da expressão 4.1, foram ainda consideradas as variações de volumes registadas em todos os reservatórios do subsistema Lever-Norte.

A metodologia acima descrita foi aplicada durante o mês de março entre as 10:00 horas de cada dia e as 10:00 horas do dia subsequente, o que permitiu a obtenção de uma base de referência de funcionamento. Os volumes registados encontram-se descritos sob a forma de valores médios na Tabela 4.68, encontrando-se a totalidade dos valores no Anexo D-1..

Tabela 4.68– Avaliação de perdas no subsistema Lever-Norte.

Data		Volume Médio	Volume Médio	Volume Médio	Volume Médio	Δ Média	Δ Média	Δ Média	Δ Média	Perda
Início	Fim	Entrada Ramalde (m³)	365 + 368 (m³)	433 + 435 (m³)	Linha Ramalde-Pedrouços (m³)	Volumes Jovim (m³)	Volumes Ramalde (m³)	Volumes Monte Pedro (m³)	Volumes Pedrouços (m³)	Média (m³)
1-mar	30-mar	142.110	24.831	68.008	44.897	196	-42	7	67	4.147

Da análise da Tabela 4.68, salienta-se existência de uma perda média diária no período analisado de 4.147m<sup>3</sup>, valor que corresponde a 2,92% do volume médio de entrada do reservatório de Ramalde, 142.110m<sup>3</sup>.

Apurado um valor médio diário de referencia para a perda verificada no subsistema Lever-Norte, de 4.147m<sup>3</sup>, foi idealizado um ensaio, para um período temporal mais restrito, com uma duração de apenas dois dias, durante os quais se verifica uma origem distinta dos volumes de entrada no reservatório de Ramalde.

Neste ensaio, os volumes de entrada em Ramalde, são constituídos pelos volumes elevados da estação elevatória da ETA de Lever em detrimento dos volumes proveniente da captação sub-aluvionar Lever Montante, “900” e “901”, permanecendo os restantes intervenientes inalterados. Desta forma, foi possível aferir qual o impacto que os caudalímetros da captação de Lever Montante possuem nas perdas do sistema adutor do subsistema Lever-Norte.

Os volumes contabilizados pelos caudalímetros, bem como os volumes considerados como perda obtidos pela aplicação do ensaio, decorrido entre os dias 13 e 15 de abril, encontram-se expostos na Tabela 4.69.

Tabela 4.69– Avaliação de perdas no subsistema Lever-Norte com Lever-Montante parado.

Data		Volume	Volume	Volume	Volume	Δ	Δ	Δ	Δ	Perda
Início	Fim	Entrada Ramalde (m³)	365 + 368 (m³)	433 + 435 (m³)	Linha Ramalde-Pedrouços (m³)	Volumes Jovim (m³)	Volumes Ramalde (m³)	Volumes Monte Pedro (m³)	Volumes Pedrouços (m³)	(m³)
13-abr	14-abr	138.303	25.047	70.225	45.009	-2.141	-245	72	-892	1.228
14-abr	15-abr	135.311	24.068	68.633	43.120	-2.826	425	82	436	1.373

Assim, do ensaio realizado resulta uma perda média de 1.301m<sup>3</sup>, valor que corresponde a 0,95% do volume médio de entrada no reservatório de Ramalde, 136.807m<sup>3</sup>.

Comparando o volume, considerado como perda média, obtido no primeiro ensaio (ver Tabela 4.68),  $4.174\text{m}^3$ , com o volume obtido no segundo ensaio (ver Tabela 4.69),  $1.301\text{m}^3$ , denota-se uma diminuição de  $2.873\text{m}^3$ . A perda registada no segundo ensaio corresponde a uma diminuição de aproximadamente 70% das perdas verificadas com captação de Lever-Montante, “900” e “901”, em funcionamento.

Desta forma, com o propósito de validar os resultados obtidos pelo ensaio anterior, foi levado a cabo uma repetição do ensaio com a interrupção da captação de Lever-Montante nos dias entre 2 e 4 de maio.

Tratando-se de uma réplica, os pressupostos utilizados permaneceram inalteráveis, encontrando-se os volumes registados e os considerados como perdas expressos na Tabela 4.70.

Tabela 4.70– Avaliação de perdas no subsistema Lever-Norte com Lever-Montante parado, segundo ensaio.

Data		Volume Entrada Ramalde ( $\text{m}^3$ )	Volume 365 + 368 ( $\text{m}^3$ )	Volume 433 + 435 ( $\text{m}^3$ )	Volume Linha Ramalde- Pedrouços ( $\text{m}^3$ )	$\Delta$ Volumes Jovim ( $\text{m}^3$ )	$\Delta$ Volumes Ramalde ( $\text{m}^3$ )	$\Delta$ Volumes Monte Pedro ( $\text{m}^3$ )	$\Delta$ Volumes Pedrouços ( $\text{m}^3$ )	Perda ( $\text{m}^3$ )
Início	Fim									
2-mai	3-mai	143.508	25.299	74.553	48.168	-3.311	-359	-493	-2.288	1.939
3-mai	4-mai	161.638	27.661	77.040	47.940	3.407	33	182	2.469	2.906

Nesta situação verifica-se que as perdas assumem um valor médio de  $2.423\text{m}^3$ , o que perfaz 1,59% do volume médio de entrada,  $152.573\text{m}^3$ .

Comparando os resultados obtidos com o ensaio realizado em abril, denota-se que o volume médio de entrada no reservatório de Ramalde apresenta um incremento de 11,52%,  $15.766\text{m}^3$ . Por outro lado, as perdas apresentam um aumento de  $1.122\text{m}^3$ , volume que corresponde a um acréscimo de 86,26% face às perdas registadas no ensaio decorrido entre 13 e 15 de abril.

Com o propósito de aferir qual a origem das diferenças verificadas nos ensaios anteriores, foram determinados os volumes de entrada e saída na ETA de Lever, assim como os níveis do RAF e RAT, permitindo, de acordo com a expressão 4.1, aferir as perdas na ETA de Lever e apurar quais os grupos da captação superficial e da estação elevatória que se encontravam em funcionamento nos respetivos ensaios.

Deste modo, encontram-se na Tabela 4.71, os volumes contabilizados pelos grupos da captação superficial. O volume captado pelos grupos eletrobomba da captação superficial em conjunto com os volumes provenientes do LPE perfazem o volume total de entrada na ETA de Lever.

Tabela 4.71– Volumes grupos eletrobomba da captação superficial.

Data		Grupo 1 (m <sup>3</sup> )	Grupo 2 (m <sup>3</sup> )	Grupo 3 (m <sup>3</sup> )	Grupo 4 (m <sup>3</sup> )	Grupo 5 (m <sup>3</sup> )	Grupo 6 (m <sup>3</sup> )
Início	Fim						
13-abr	14-abr	0	9.360	0	69.736	0	0
14-abr	15-abr	0	0	32.932	0	9.531	35.708
2-mai	3-mai	0	79.612	0	0	0	0
3-mai	4-mai	0	73.108	0	0	52.798	0

Na Tabela 4.71 verifica-se que os grupos utilizados na captação superficial variam de um ensaio para o outro. No ensaio realizado em abril, os grupos 3, 4 e 6 foram os grupos mais utilizados, sendo que em maio, se recorram aos grupos 2 e 5, sendo verificado no ponto anteriormente que os grupos 2 e 5 são os que reportam menor caudal.

Na Tabela 4.72 encontram-se os volumes elevados pelos grupos eletrobombas da estação elevatória de Lever, responsáveis pela adução da água dos reservatórios da ETA de Lever para os reservatórios de Jovim e Lagoa.

Tabela 4.72– Volumes grupos eletrobomba da estação elevatória da ETA de Lever.

Data		Grupo 9 (m <sup>3</sup> )	Grupo 10 (m <sup>3</sup> )	Grupo 11 (m <sup>3</sup> )	Grupo 12 (m <sup>3</sup> )	Grupo 13 (m <sup>3</sup> )	Grupo 14 (m <sup>3</sup> )
Início	Fim						
13-abr	14-abr	16.212	75.888	0	0	0	82.252
14-abr	15-abr	0	83.920	7.740	0	79.888	0
2-mai	3-mai	38.644	15.328	47.264	0	35.752	39.536
3-mai	4-mai	39.808	15.964	65.556	33.360	35.468	23.840

Por forma a serem calculadas as perdas na ETA de Lever, de acordo com a expressão 4.1, foram determinados os volumes contabilizados pelo LPE, que em conjunto com os volumes expressos na Tabela 4.71, perfazem o volume de entrada. Para o cálculo do volume de saída, utilizaram-se os volumes contabilizados pelos grupos eletrobomba expostos na tabela 5, que realizam a adução da água para os reservatórios de Jovim e Lagoa, a estes volumes foram ainda adicionados os volumes contabilizados pelo caudalímetro do coletor da estação elevatória da ETA de Lever para Seixo Alvo, “912”.

Posteriormente, foram determinados as variações de volume verificadas nos reservatórios da ETA, encontrando-se os dados obtidos expostos na Tabela 4.73 e Tabela 4.74, para os ensaios de abril e maio, respetivamente.

Tabela 4.73– Perdas na ETA de Lever com Lever-Montante parado.

Data		Captação Superficial (m³)	LPE (m³)	Jovim (m³)	Lagoa (m³)	Seixo Alvo (m³)	$\Delta$ Reservatórios ETA (m³)	Perda (m³)
Início	Fim							
13-abr	14-abr	79.096	171.136	92.100	82.252	67.136	2.226	6.518
14-abr	15-abr	78.171	168.352	91.660	79.888	72.992	-2.905	4.888

Tabela 4.74– Perdas na ETA de Lever com Lever-Montante parado, segundo ensaio.

Data		Captação Superficial (m³)	LPE (m³)	Jovim (m³)	Lagoa (m³)	Seixo Alvo (m³)	$\Delta$ Volume Reservatórios ETA (m³)	Perda (m³)
Início	Fim							
2-mai	3-mai	79.612	164.768	101.236	75.288	69.632	-4.723	2.947
3-mai	4-mai	125.906	172.832	121.328	92.668	81.520	-2.129	5.351

Da análise das tabelas descritas, salienta-se a existência de uma perda média na ETA de Lever de  $5.703\text{m}^3$  no ensaio abril e de  $4.149\text{m}^3$  no ensaio de maio. Verifica-se ainda que as perdas na ETA são inferiores no ensaio realizado em maio, contrariamente ao que se verifica no sistema adutor, como se pode observar pela Tabela 4.69 e Tabela 4.70.

Por outro lado, no dia 3 de maio, segundo dia do ensaio, verificou-se a existência de água à superfície, como demonstra a Figura 4.41, num local onde passam as condutas que realizam a adução da água da captação de Montante para o reservatório de Jovim.



Figura 4.41 – Eflorescência de água á superfície.



A presença de água à superfície, alertou para uma possível fuga nas condutas anexas, sendo aberta uma vala para verificar a origem da água à superfície. (ver Figura 4.42)



Figura 4.42 – Abertura da vala para apurar a origem da água.

Depois de aberta a vala, verificou-se que a conduta monitorizada pelo caudalímetro “901”, com um diâmetro de 1200mm, apresentava uma fissura, como se pode observar pela Figura 4.43.



Figura 4.43 – Fissura na conduta DN1200.

Depois de detetada a origem da fuga, procedeu-se à remoção do tramo comprometido pela fissura, ver Figura 4.44, sendo substituído posteriormente pelo tramo representado na Figura 4.45.





Figura 4.44 – Maciço de ancoramento da conduta DN1200.



Figura 4.45 – Tramo de conduta a ser instalado.

Durante o processo de reparação da fissura foi possível verificar que a conduta, apresentava uma espessura significativa de depósitos nas suas paredes, como é possível constatar na Figura 4.46.



Figura 4.46 – Espessura dos depósitos nas paredes da conduta DN1200.

Estes depósitos observados no local da fissura da conduta, levantaram questões relativamente ao estado dos caudalímetros, “900” e “901”, que monitorizam ambas as condutas provenientes de Lever Montante, uma vez que ambos se encontram a montante da fissura e se encontram em contacto com a mesma água. Deste modo, foi programada uma intervenção aos caudalímetros “900” e “901” para verificar o seu estado de funcionamento.

Depois de reparada a fissura existente na conduta, esta foi limpa, utilizando um fluxo de água em sentido oposto ao seu normal funcionamento sendo este volume de água descarregado por uma descarga de fundo colocada num ponto baixo na ETA de Lever. Após a limpeza, a conduta foi recolocada em serviço.

Já com ambas as condutas provenientes de Lever-Montante em funcionamento, detetou-se que o caudalímetro da conduta com diâmetro de 1000mm, monitorizada pelo caudalímetro “900”, reportava caudal apesar dos grupos eletrobomba de Montante se encontrarem parados, significando que o zero do caudalímetro se encontrava deslocado.

Para comprovar esse deslocamento do zero, foram realizados dois ensaios, analisando dois períodos distintos, um primeiro período compreendido entre os dias 6 e 7 de abril e, um segundo entre os dias 7 e 8 de junho.

No decorrer destes períodos foram determinados os caudais contabilizados pelos caudalímetros “900”, conduta DN1000, e “901”, conduta DN1200, sendo os resultados comparados posteriormente.

Os volumes contabilizados pelos caudalímetros correspondem ao volume elevado pelos grupos eletrobomba 1, 3 e 5.

Os caudais obtidos, bem como os resultados das análises para dois e três grupos de bombagem encontram-se nas Tabela 4.75 e Tabela 4.76 respetivamente.

Tabela 4.75– Ensaio com 2 grupos de bombagem.

Dia	Hora	Grupos Bombagem	Caudais (l/s)			Diferença (l/s)
			900 - DN1000	901 - DN1200	Total	
06-abr	13:00	1 e 5	544	658	1.202	-
07-jun	às 20:00		589	644	1.233	31

Tabela 4.76– Ensaio com 3 grupos de bombagem.

Dia	Hora	Grupos Bombagem	Caudais (l/s)			Diferença (l/s)
			900 - DN1000	901 - DN1200	Total	
07-abr	01:00	1, 3 e 5	739	988	1.727	-
08-jun	às 06:00		781	980	1.761	34

Da análise da Tabela 4.75, verifica-se que com apenas dois grupos eletrobomba, surge uma diferença de 31l/s, quando comparado o caudal total do dia 6 de abril e 7 de junho. Já com três grupos eletrobomba (Tabela 4.76) denota-se uma diferença de 34l/s. Contudo, os caudais obtidos em ambos os estudos, são diretamente influenciados pelo nível de água registado no poço de Montante, uma vez que a altura de água disponível no poço faz variar o ponto de funcionamento das bombas, gerando valores de caudais diferentes.

Constata-se que o caudalímetro “900”, que monitoriza a conduta de DN1000, se encontra deslocado no sentido positivo, na grandeza de aproximadamente 30l/s, sendo realizado um novo zero ao caudalímetro no dia 8 de junho.

Estabelecido o zero do caudalímetro, as duas condutas de Montante, DN1000 e DN1200, foram alvo de uma intervenção, com o intuito de avaliar o estado de funcionamento dos caudalímetros “900” e “901”. Durante a intervenção, que decorreu de dia 11 a 15 de julho, as condições de funcionamento da ETA de Lever foram similares às utilizadas para a realização do ensaio, encontrando-se interrompida a captação sub-aluvionar de Lever Montante, possibilitando, deste modo, a recolha de dados que serão analisados posteriormente.

Desta forma, teve início a intervenção, desapertando as juntas de desmontagem para a remoção do caudalímetro “900” (ver Figura 4.47), na conduta DN1000, permitindo aferir o estado de funcionamento do mesmo como se pode verificar pela Figura 4.48.



Figura 4.47 – Remoção do caudalímetro “900”



Figura 4.48 – Aspeto do interior do caudalímetro “900”.

Observando a Figura 4.49 e Figura 4.50, que retratam, o interior do caudalímetro “900”, verifica-se a espessura dos depósitos da conduta.



Figura 4.49 – Espessura de depósitos dentro do caudalímetro “900”.



Figura 4.50 – Pormenor da espessura do depósito dentro do caudalímetro “900”.

Na Figura 4.51, pode verificar-se o estado da conduta DN1000, a montante do caudalímetro.



Figura 4.51 – Depósitos nas paredes da conduta DN1000.

Posteriormente o caudalímetro foi sujeito a uma limpeza, sendo possível verificar pelas Figura 4.52 e Figura 4.53 o antes e após da intervenção.



Figura 4.52 – Aspecto do interior do caudalímetro antes da limpeza.



Figura 4.53 – Aspecto do interior do caudalímetro após a limpeza.

O processo foi repetido para o caudalímetro “901” da conduta DN1200, sendo que este evidenciava menor depósito, uma vez que, aquando da reparação da fissura, a conduta já tinha sido limpa.

Depois de montados os caudalímetros, as condutas foram submetidas a uma limpeza por água em contra corrente, sendo a água utilizada para a limpeza vazada por uma descarga de fundo. Nas Figura 4.54 e Figura 4.55, é possível verificar qual a condição da água utilizada na lavagem nos minutos iniciais da limpeza e compará-la com a obtida no final da limpeza das condutas.





Figura 4.54 – Aspeto da água ao início da limpeza.

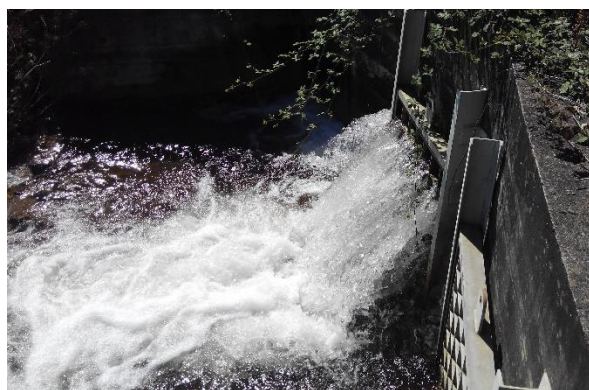


Figura 4.55 – Aspeto da água no final da limpeza.

Durante a intervenção, foram determinados os volumes contabilizados pelos caudalímetros da ETA de Lever, bem como os volumes consumidos ao longo do sistema adutor, subsistema Lever-Norte. Desta forma, utilizando a metodologia empregue no ensaio com Lever Montante parado foram determinadas simultaneamente as perdas na ETA de Lever e no subsistema Lever-Norte.

Os volumes contabilizados pelos caudalímetros do sistema adutor, bem como os respetivos volumes considerados como perda, encontram-se expostos na Tabela 4.77.

Tabela 4.77– Avaliação das perdas no subsistema Lever-Norte após a intervenção.

Data		Volume Entrada Ramalde (m <sup>3</sup> )	Volume 365 + 368 (m <sup>3</sup> )	Volume 433 + 435 (m <sup>3</sup> )	Volume Linha Ramalde- Pedrouços (m <sup>3</sup> )	Δ Volumes Jovim (m <sup>3</sup> )	Δ Volumes Ramalde (m <sup>3</sup> )	Δ Volumes Monte Pedro (m <sup>3</sup> )	Δ Volumes Pedrouços (m <sup>3</sup> )	Perda (m <sup>3</sup> )
Início	Fim									
11-jul	12-jul	147.419	24.734	77.099	47.030	-2.791	196	198	-65	1.018
12-jul	13-jul	169.831	33.339	80.414	50.237	4.806	-33	-107	629	545
13-jul	14-jul	168.339	30.842	83.404	54.042	-1.040	196	3	-260	1.151
14-jul	15-jul	172.836	31.877	85.817	55.190	-1.790	-1.879	-515	-347	4.483

Pela análise da Tabela 4.78 verifica-se a existência de uma perda média diária de 1.800m<sup>3</sup>, volume que representa em média 1,09% do volume médio considerado com entrada em Ramalde.

É de salientar que entre as 10:00 horas do dia 14 de julho e as 10:00 horas do dia 15, registou-se uma perda de 4.483m<sup>3</sup>, contudo este valor deve-se à limpeza que se efetuou nas condutas de Lever Montante, DN1000 e DN1200. Durante a limpeza das condutas foram utilizados aproximadamente 3000m<sup>3</sup> de água provenientes do sistema adutor.

Por analogia com a primeira análise realizada com a captação de Lever Montante parada, foram determinados os volumes contabilizados pelos grupos da captação superficial e, determinados os volumes elevados pela estação elevatória da ETA de Lever, sendo expostos os volumes obtidos nas respectivas Tabela 4.78 e Tabela 4.79.

Tabela 4.78– Volumes grupos eletrobomba da captação superficial da ETA de Lever.

Data		Grupo 1 (m <sup>3</sup> )	Grupo 2 (m <sup>3</sup> )	Grupo 3 (m <sup>3</sup> )	Grupo 4 (m <sup>3</sup> )	Grupo 5 (m <sup>3</sup> )	Grupo 6 (m <sup>3</sup> )
Início	Fim						
11-jul	12-jul	84.100	0	31.972	0	0	0
12-jul	13-jul	0	27.020	0	72.136	0	41.108
13-jul	14-jul	0	58.128	0	0	79.906	0
14-jul	15-jul	83.796	0	0	67.036	0	0

Tabela 4.79– Volumes grupos eletrobomba da estação elevatória da ETA de Lever.

Data		Grupo 9 (m <sup>3</sup> )	Grupo 10 (m <sup>3</sup> )	Grupo 11 (m <sup>3</sup> )	Grupo 12 (m <sup>3</sup> )	Grupo 13 (m <sup>3</sup> )	Grupo 14 (m <sup>3</sup> )
Início	Fim						
11-jul	12-jul	57.132	14.916	39.012	27.564	28.508	31.160
12-jul	13-jul	22.948	61.864	45.424	0	67.868	27.360
13-jul	14-jul	66.656	23.084	38.824	0	66.840	22.592
14-jul	15-jul	30.468	26.732	75.176	0	71.836	22.776

Durante a intervenção aos caudalímetros de Lever-Montante, “900” e “901”, no dia 12 de julho, verificou-se que a válvula de retenção do grupo eletrobomba 12, da estação elevatória da ETA de Lever, se encontrava com funcionamento anômalo. A válvula de retenção, não se encontrava a vedar corretamente, permitindo a passagem de aproximadamente 15l/s de água do coletor de Lagoa para a conduta do grupo 12. Desta forma, o grupo 12 foi colocado fora de serviço no dia 12 de julho, não tendo sido considerado durante o resto da análise, explicando os valores nulos registados nos restantes dias na Tabela 4.79.

Os volumes expressos nas Tabela 4.78 e Tabela 4.79, foram compilados nos volumes totais da captação superficial, volumes dos grupos 1 a 6, e nos volumes elevados pela estação elevatória da ETA de Lever para o coletor de Jovim, volumes dos grupos 9, 10 e 11 sendo os volumes dos restantes grupos expostos na Tabela 4.79 encaminhados para o coletor de Lagoa.

Para se aferirem as perdas na ETA de Lever, foram ainda determinados os volumes contabilizados pelo LPE, os volumes elevados para o coletor de Seixo Alvo e as variações de volume verificadas nos reservatórios da ETA. Os dados obtidos foram agrupados na Tabela 4.80.

Tabela 4.80– Avaliação das perdas na ETA de Lever após a intervenção.

Data		Captação Superficial (m³)	LPE (m³)	Jovim (m³)	Lagoa (m³)	Seixo Alvo (m³)	Δ Volume Reservatórios ETA (m³)	Perda (m³)
Início	Fim							
11-jul	12-jul	116.072	163.904	111.060	87.232	79.792	-1.893	3.785
12-jul	13-jul	140.264	166.592	130.236	95.228	74.784	2.218	4.390
13-jul	14-jul	138.034	164.480	128.564	89.432	78.208	2.618	3.692
14-jul	15-jul	150.832	165.440	132.376	94.612	80.240	2.564	6.480

Verifica-se que no período compreendido entre os dias 11 e 15 de julho existe uma perda média de  $4.587\text{m}^3$ , correspondendo este valor a 1,52% do volume total médio de entrada na ETA de Lever,  $301.405\text{m}^3$ , compreendido pelos volumes da captação superficial e do LPE.

Deste ensaio pode aferir-se que, as perdas na ETA apresentam volumes superiores quando o grupo eletrobomba 9 da estação elevatória da ETA de Lever, é utilizado durante menos tempo, sendo nesta situação as perdas no sistema adutor mais reduzidas, como se pode verificar entre o dia 12 e 13 de junho. Este facto pode ser explicado pelo funcionamento do grupo 9, uma vez que este efetua uma leitura errónea dos resultados, apresentando valores superiores aos reais, como se pode verificar pela análise da Figura 4.39.

É ainda de salientar que as perdas na ETA, apresentam valores superiores quando os grupos 1 e 4 da captação superficial se encontram em funcionamento, sendo verificada a situação inversa com os grupos 2 e 5 em funcionamento. A explicação para esta situação prende-se com as leituras erróneas dos caudalímetros dos grupos eletrobomba da captação superficial. Verifica-se que os grupos 1 e 4, são os grupos que reportam maior caudal e por sua vez, os grupos 2 e 5, são os grupos que detêm menor caudal.

#### 4.2.4.5 Quadro Síntese

Dada extensão das análises efetuadas para a ETA de Lever, na Tabela 4.81, são apresentados de uma forma sucinta as conclusões retiradas para cada uma das situações analisadas.

Tabela 4.81 – Resumo dos resultados obtidos para as análises dos caudalímetros.

<b>Caudalímetro</b>	<b>Resultado das análises</b>
<b>Captação Superficial</b>	Resultados inconclusivos.
<b>LPE</b>	Aferido o correto funcionamento do caudalímetro.
<b>Estação Elevatória</b>	<p>Funcionamento anómalo dos caudalímetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Caudalímetro do coletor de Lagoa apresenta uma tendência para subvalorizar os valores contabilizados quando comparado com os volumes reportados pelos grupos eletrobomba;</li> <li>- Caudalímetro do coletor de Seixo Alvo apresenta uma tendência para subvalorizar os valores contabilizados.</li> </ul>
<b>Lever-Montante</b>	Após a intervenção programada de limpeza, foi realizado o zero aos caudalímetros, aferindo o correto funcionamento dos mesmos.

### 4.3 ZONAS DE MEDIÇÃO E CONTROLO

Após uma esquematização da rede e análise do funcionamento dos reservatórios do subsistema Lever-Norte, desenvolveu-se uma folha de cálculo com o propósito de aferir as diferenças totais registadas no subsistema ao longo de um determinado período temporal.

A folha de cálculo permite determinar as diferenças de acordo com as expressões apresentadas no ponto 4.2, sendo estas baseadas no princípio da expressão 4.1 e 4.2.

Para além de possibilitarem a avaliação do funcionamento geral do subsistema através do valor total considerado como perda, as folhas de cálculo desenvolvidas permitem identificar a origem dessas diferenças, demonstrando-se uma ferramenta útil para a avaliação e controlo de eventuais perdas.

#### 4.3.1 Subsistema Lever – Norte

Focando o subsistema Lever-Norte, ver Figura 4.3, foram determinadas quatro zonas de controlo, segundo as expressões 4.3 a 4.6. Deste modo, as perdas são monitorizadas nos reservatórios de Jovim, Ramalde, Pedrouços, e ainda na linha da Circunvalação de acordo com as expressões 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6 respetivamente.

Na Figura 4.56, encontra-se o exemplo da aplicação da folha de cálculo desenvolvida, que permite calcular as perdas parciais e totais para o subsistema Lever-Norte.



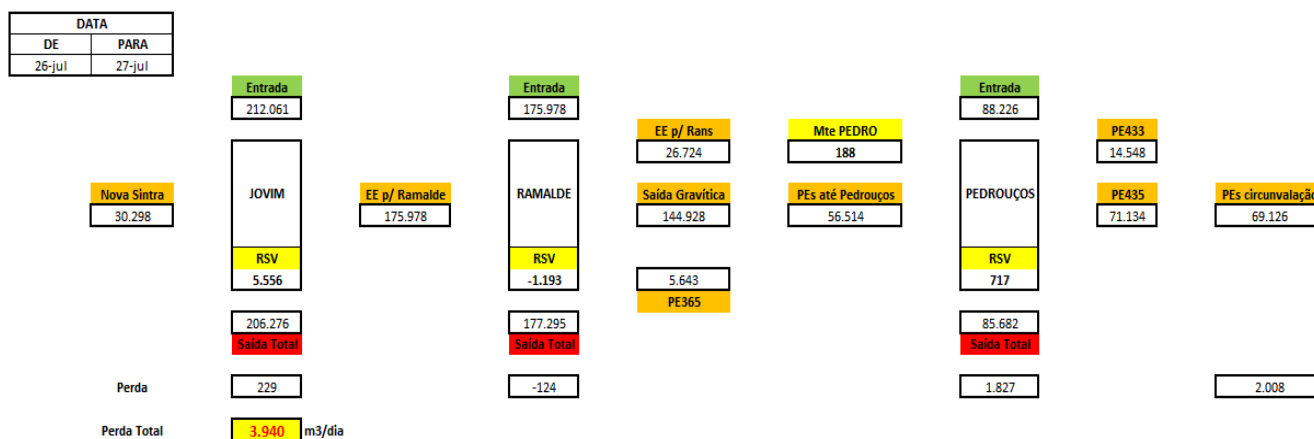


Figura 4.56 – Exemplo de aplicação de cálculo de perdas nas zonas de medição do subsistema Lever-Norte.

No exemplo representado na Figura 4.56, denota-se uma perda total de  $3.940\text{m}^3$ , compreendida entre as 10:00 horas do dia 26 de julho e as 10:00 horas do dia subsequente. Da Figura 4.56, verificamos ainda que as perdas verificadas no reservatório de Ramalde, são negativas, implicando que o volume considerado como entrada será inferior ao balanço do volume de saída e variações de armazenamento no reservatório, indo ao encontro do verificado aquando do ensaio das elevatórias do reservatório de Jovim. Denota-se ainda que o reservatório de Pedrouços e a linha da Circunvalação, correspondem à quase totalidade das perdas verificadas neste período, para este subsistema, com  $1.827\text{m}^3$  e  $2.008\text{m}^3$  respetivamente.

Utilizando, a folha de cálculo desenvolvida, foram determinadas as perdas ao longo dos dias do mês de abril, sendo expostos, na Tabela 4.82, os resultados médios diários obtidos para as diferentes zonas de controlo e medição, bem como o volume total considerado como perda no subsistema Lever-Norte. Os valores obtidos ao longo de cada dia encontram-se expostos no Anexo E-1..

Tabela 4.82– Perdas médias diárias nas zonas de medição do subsistema Lever-Norte, mês de abril.

Mês de Abril		Jovim (m³)	Ramalde (m³)	Pedrouços (m³)	Linha Circunvalação (m³)	Total (m³)
1-abr	1-mai	1.756	624	1.252	553	4.186

Durante o mês de abril, as perdas no subsistema adutor Lever-Norte assumem um volume médio diário de  $4.186\text{m}^3$ , salientando-se a zona de medição e controlo de Jovim como o valor mais elevado verificado nas quatro zonas de medição e controlo, apresentando uma perda média diária de  $1.756\text{m}^3$ . Os volumes de perda média diária de  $624\text{m}^3$ ,  $1252\text{m}^3$  e  $553\text{m}^3$ , perfazem os restantes volumes das zonas de medição e controlo de Ramalde, Pedrouços e da Linha da Circunvalação.

De uma análise mais detalhada das perdas em cada zona de controlo, Anexo E-1., analisando os dias 13 e 14 de abril, verifica-se que as perdas obtidas na zona de controlo de Jovim apresentam volumes muito inferiores à média registada. A explicação para estes valores reside na alteração da origem dos volumes de entrada no reservatório de Jovim, uma vez que durante este período foi realizado um ensaio na ETA de Lever (ver 4.2.3.4), encontrando-se a captação sub-aluvionar de Lever Montante parada.

Denota-se, ainda, que na zona de controlo da Linha da Circunvalação, durante o dia 13 de abril, as perdas apresentavam um valor deveras elevado, tendo-se verificado no dia anterior um valor muito reduzido. Após uma análise mais detalhada, constatou-se que dois pontos de entrega da Linha da Circunvalação (ver Figura 4.3), com os códigos “395” e “495”, reportavam valores inferiores ao seu consumo médio.

Neste sentido, uma análise aos pontos de entrega permitiu constatar que o caudalímetro “395”, no dia 12 de abril, reverteu o valor do totalizador, reportando valores incorretos após este dia. Em relação ao caudalímetro “495”, foi detetado um problema de comunicação, fazendo com que o caudalímetro não contabilizasse os volumes entre as 10:44 horas e as 15:54 horas do dia 13 de abril.

As perdas determinadas para cada zona de medição e controlo, foram posteriormente representadas num gráfico, apresentado na Figura 4.57, permitindo desta forma avaliar a evolução das perdas ao longo do mês de abril. Foi ainda elaborado, com o mesmo propósito, um gráfico representando as perdas totais observadas no subsistema Lever-Norte. (ver Figura 4.58)

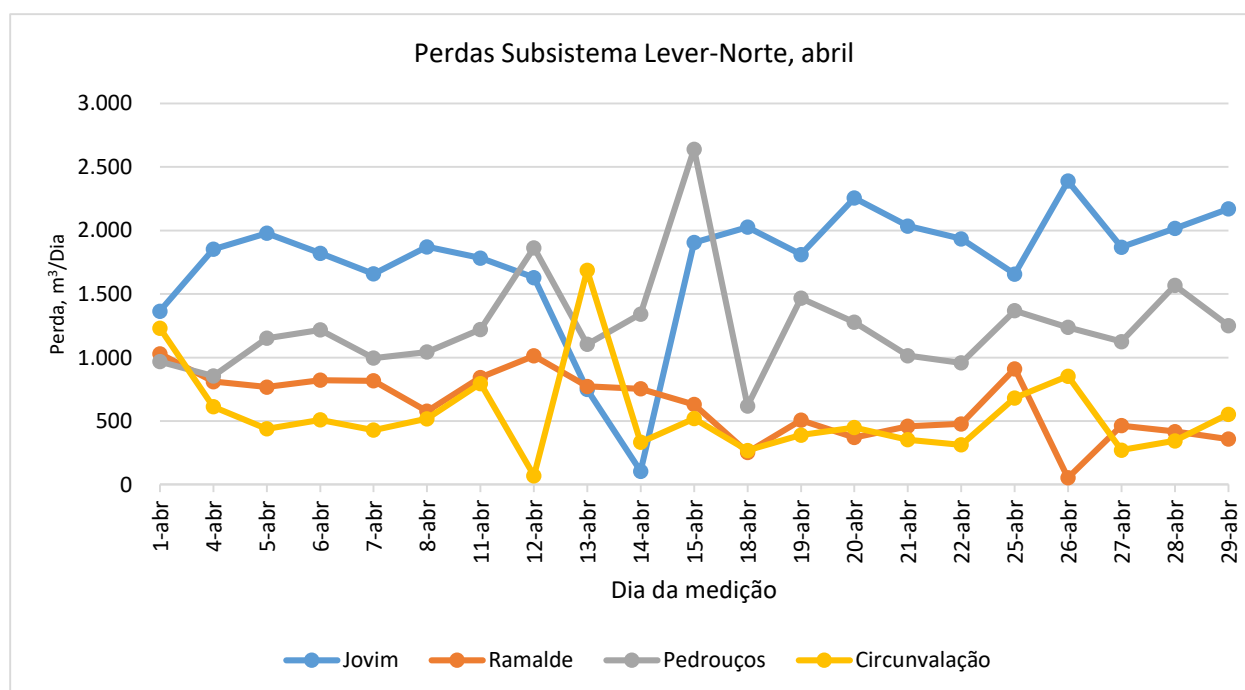


Figura 4.57 – Perdas nas zonas de medição e controlo do subsistema Lever-Norte no mês de abril.

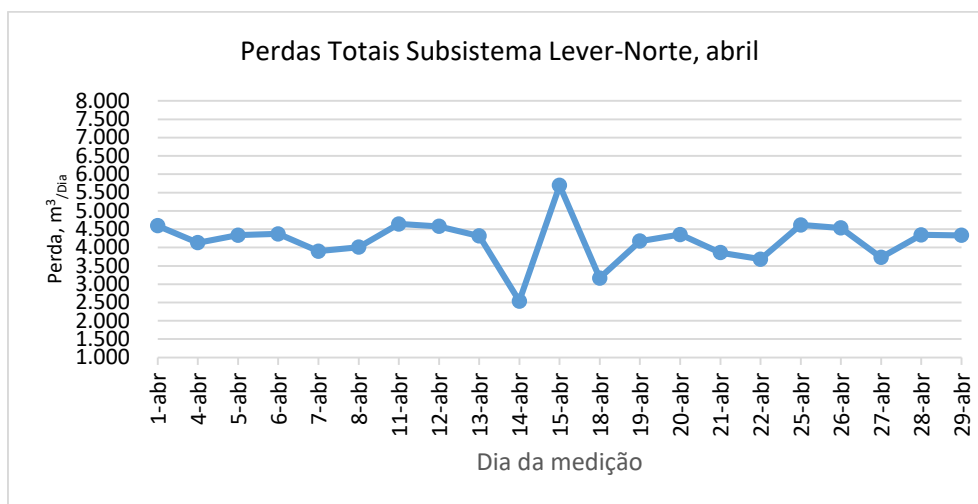


Figura 4.58 – Perdas totais no subsistema Lever-Norte ao longo do mês de abril.

Na Tabela 4.83, estão dispostos os volumes médios diários determinados como perdas nas zonas de medição do subsistema Lever-Norte durante o mês de maio. A totalidade dos valores recolhidos para o mês de maio encontra-se no Anexo E-2..

Tabela 4.83– Perdas nas zonas de medição do subsistema Lever-Norte, mês de maio.

Mês de maio		Jovim (m³)	Ramalde (m³)	Pedrouços (m³)	Linha Circunvalação (m³)	Total (m³)
1-mai	1-jun	2.418	369	1.331	892	5.009

Verifica-se, da análise da Tabela 4.83, uma perda média diária no subsistema Lever-Norte de 5.009m³. Uma vez mais, denota-se que a zona de medição de Jovim apresenta os maiores volumes de perda, perfazendo uma média diária de 2.418m³. Os volumes de perda média diária atingem os 369m³, 1.331m³ e 892m³, respetivamente para zonas de medição de Ramalde, Pedrouços e Linha da Circunvalação.

No desenrolar do mês de maio, 2 a 4 de maio, foi realizado o segundo ensaio na ETA de Lever (ver 4.2.3.4) que visava aferir as perdas no sistema adutor do subsistema Lever-Norte, dando origem às perdas mais baixas registadas durante este mês (ver Anexo E-2.).

Como mencionado anteriormente, durante a realização do ensaio, foi detetada uma fissura na conduta DN1200. Esta conduta foi colocada fora de serviço, enquanto se procedeu à sua reparação, efetuada entre os dias 4 e 10 de maio, sendo apenas utilizada a conduta DN1000.

O valor mais alto de perda registado durante o mês de maio, 7.888m³ no dia 10 de maio, coincide com a limpeza da conduta DN1200, uma vez que a água utilizada para a limpeza provém do sistema adutor.

Após as manobras de limpeza da conduta DN1200, esta foi colocada em funcionamento conjunto com a conduta DN1000 no dia 11 de maio, sendo verificado um desvio do zero do caudalímetro “900” da conduta DN1000 (ver 4.2.3.4) no dia 13 deste mês. Após o dia 13 de maio denota-se uma tendência de aumento de perdas na zona de medição de Jovim, como se verifica pela Tabela 4.83. O aumento das perdas verificadas em Jovim, é explicado pelo facto de o caudalímetro “900” não reportar valores corretos, uma vez que o caudalímetro possuía o zero deslocado.

Por analogia com o mês de abril, foi elaborado um gráfico, Figura 4.59, representado as perdas para cada uma das zonas de medição e controlo do subsistema Lever-Norte, estando na Figura 4.60, representada a evolução das perdas no sistema adutor ao longo do mês de maio.

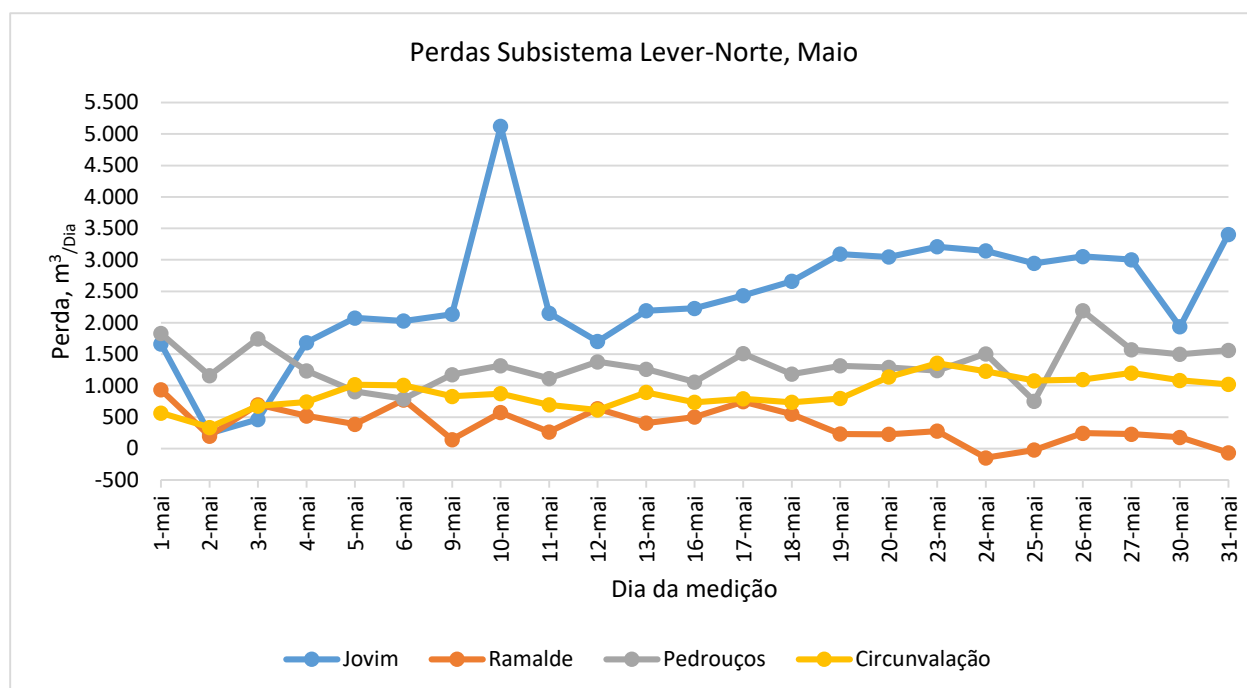


Figura 4.59 – Perdas nas zonas de medição e controlo do subsistema Lever-Norte no mês de maio.

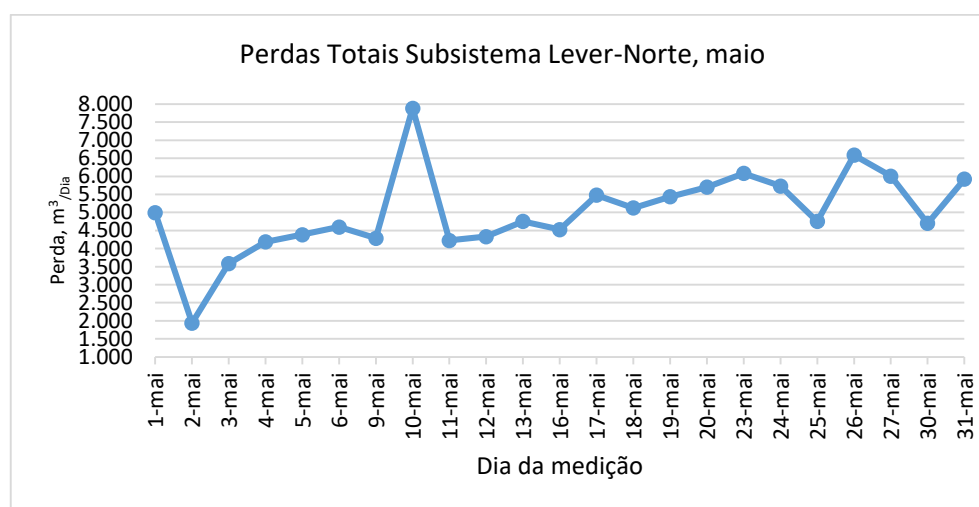


Figura 4.60 – Perdas totais no subsistema Lever-Norte ao longo do mês de maio.

Os volumes médios apurados como perda nas zonas de controlo para o mês de junho, encontram-se expressos na Tabela 4.84. A totalidade dos valores recolhidos encontram-se expostos no Anexo E-3..

Tabela 4.84– Perdas nas zonas de medição do subsistema Lever-Norte, mês de junho.

Dia		Jovim (m <sup>3</sup> )	Ramalde (m <sup>3</sup> )	Pedrouços (m <sup>3</sup> )	Linha Circunvalação (m <sup>3</sup> )	Total (m <sup>3</sup> )
1-jun	1-jul	1.917	26	1.499	1.250	4.693

Durante o mês de junho, foi registada uma perda média diária de 4.693m<sup>3</sup> na globalidade do subsistema Lever-Norte, tendo sido determinados os volumes de 1.917m<sup>3</sup>, 2m<sup>3</sup>, 1.499m<sup>3</sup> e 1.250 m<sup>3</sup>, como os volumes médios diários de perda das zonas de medição do subsistema Lever Norte, nomeadamente a zona de Jovim, Ramalde, Pedrouços e a Linha da Circunvalação.

O desvio verificado no caudalímetro “900” de Lever Montante, conduta DN1000, foi corrigido, realizando um zero ao caudalímetro, no dia 8 de junho, sendo as perdas obtidas na zona de medição de Jovim, consideravelmente menores após o zero do caudalímetro.

Com o intuito de facilitar a compreensão da evolução das perdas ao longo dos dias do mês de junho estas foram expressas segundo um gráfico (ver Figura 4.61) encontrando-se divididos nas zonas de medição e controlo. Posteriormente, as perdas obtidas para as diferentes zonas de medição foram agrupadas permitindo avaliar a evolução das perdas totais ao longo do subsistema Lever Norte, podendo observar-se na Figura 4.63 os resultados obtidos.

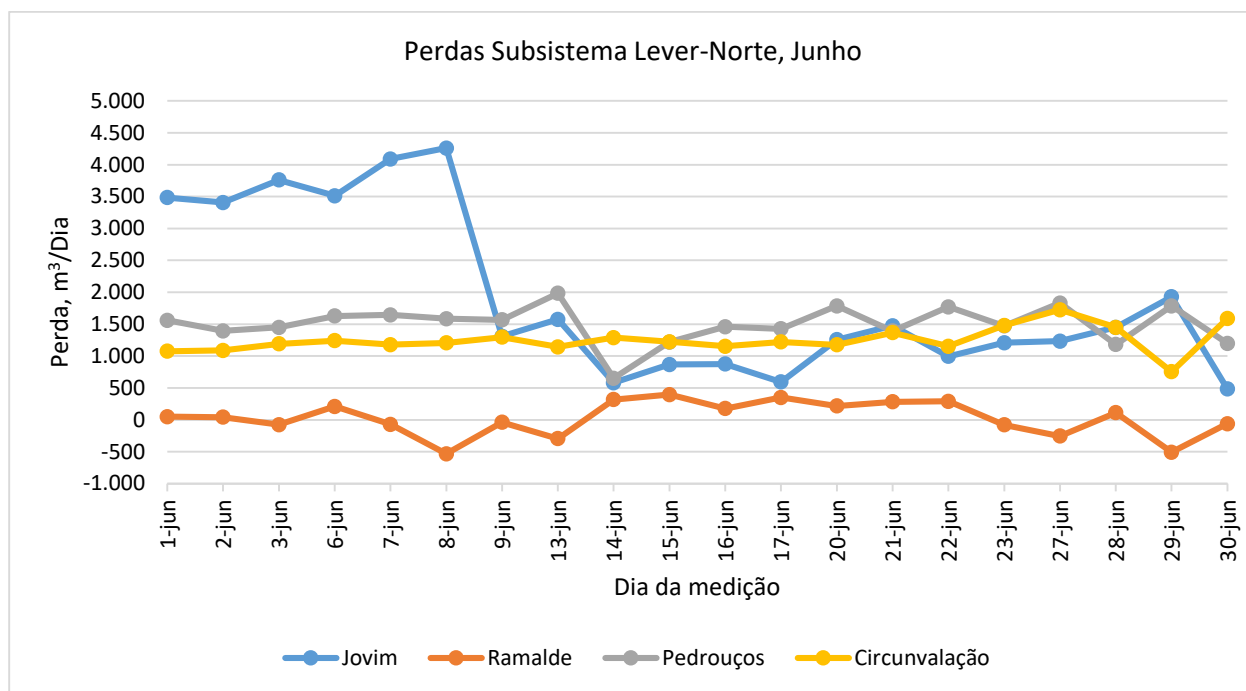


Figura 4.61 – Perdas nas zonas de medição e controlo do subsistema Lever-Norte mês de junho.

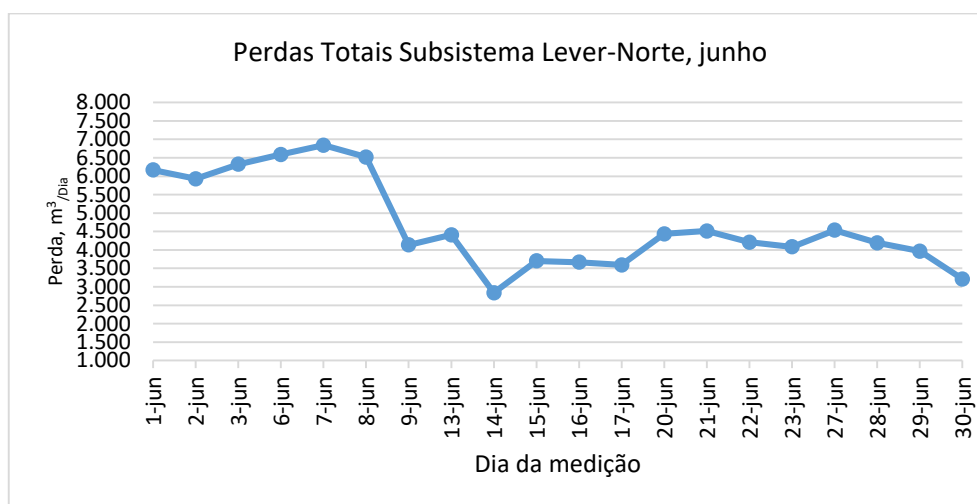


Figura 4.62 – Perdas totais no subsistema Lever-Norte ao longo do mês de junho.

Os últimos resultados obtidos com recurso à folha de cálculo desenvolvida dizem respeito ao mês de julho, sendo os volumes médios considerados como perdas determinados para diferentes zonas de medição expressos na Tabela 4.85, encontrando-se a totalidade dos valores no Anexo E-4..

Tabela 4.85– Perdas médias nas zonas de medição do subsistema Lever-Norte, mês de julho.

Dia		Jovim (m³)	Ramalde (m³)	Pedrouços (m³)	Linha Circunvalação (m³)	Total (m³)
1-jul	29-jul	523	-337	1.727	1.630	3.544

Da análise dos resultados obtidos para esta análise, verifica-se a existência de uma perda média diária de  $3.487\text{m}^3$  quando analisada a globalidade do subsistema Lever-Norte. Examinando cada uma das zonas de medição em particular, denota-se um volume médio de perdas diário de  $520\text{m}^3$  na zona de medição de Jovim,  $-336\text{m}^3$  na zona de medição de Ramalde,  $1.704\text{m}^3$  na zona de medição de Pedrouços e, na zona final de medição, na zona da Linha da Circunvalação, um volume médio diário de  $1.600\text{m}^3$ .

Durante o mês de julho, os caudalímetros, “900” e “901”, das condutas que realizam a adução de Lever-Montante para o reservatório de Jovim, DN1000 e DN1200, foram alvo de uma intervenção programada de limpeza, como referido no 4.2.3.4. Assim, no decorrer da intervenção de 11 a 15 de julho, foram utilizados os grupos de bombagem da estação elevatória da ETA de Lever para alimentar o reservatório de Jovim, sendo essa a explicação para as perdas negativas obtidas nos dias 11, 12 e 13 de julho na zona de medição de Jovim. No dia 14 de julho, na zona de medição de Jovim, as perdas assumem um valor mais elevado, devido à descarga realizada para a limpeza das condutas DN1000 e DN1200 de Lever-Montante.

No dia 17 de junho, foi efetuado um novo zero ao caudalímetro da conduta de DN1000, “900”, uma vez que apesar dos grupos eletrobomba da captação sub-aluvionar se encontrarem parados, o caudalímetro reportava valores de caudal negativos.

De forma a facilitar a compreensão dos dados obtidos, estes foram agrupados num gráfico representativo das zonas de medição (ver Figura 4.63).

Na Figura 4.64 encontram-se representados os volumes total considerado como perda no subsistema Lever-Norte ao longo do mês de julho.

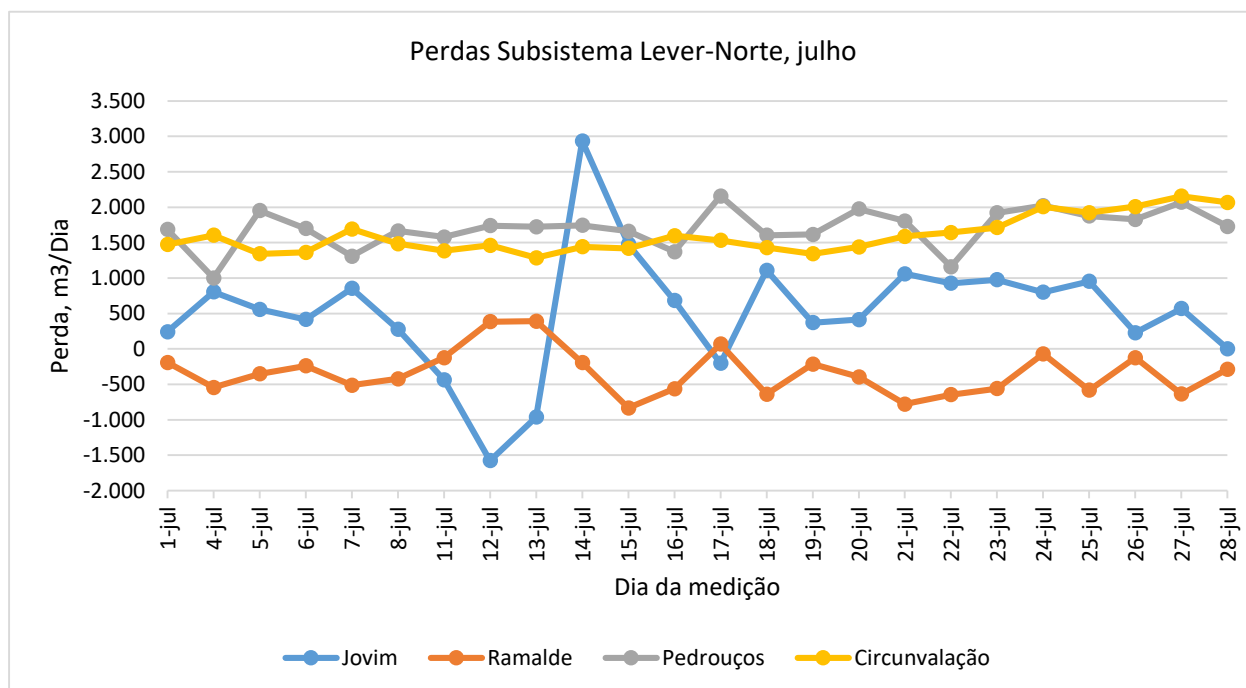


Figura 4.63 – Perdas nas zonas de medição e controlo do subsistema Lever-Norte no mês de julho.

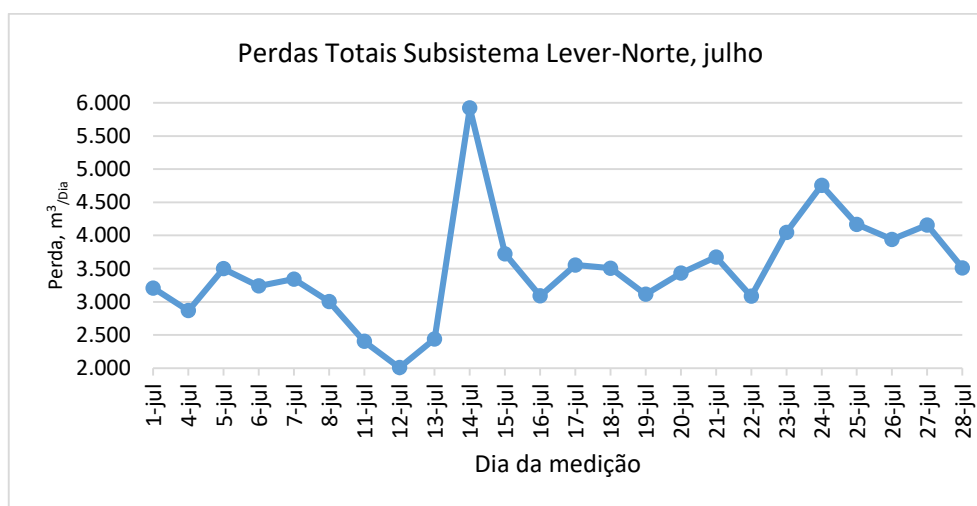


Figura 4.64 – Perdas totais no subsistema Lever-Norte ao longo do mês de julho.

Tendo-se determinado as perdas diárias para cada uma das zonas de medição do subsistema Lever-Norte, resolveu-se avaliar a evolução das perdas ao longo dos períodos em análise. Para tal, foram determinados os valores médios diários mensais das perdas obtidas nas diferentes zonas de medição e controlo estabelecidas no subsistema Lever-Norte, sendo os resultados obtidos expostos na Tabela 4.86.

Tabela 4.86– Perdas médias diárias mensais para as zonas de medição do subsistema Lever-Norte.

Mês	Jovim (m³)	Ramalde (m³)	Pedrouços (m³)	Linha Circunvalação (m³)	Total (m³)
Abril	1.756	624	1.252	553	4.186
Maio	2.418	369	1.331	892	5.009
Junho	1.917	26	1.499	1.250	4.693
Julho	520	-336	1.704	1.600	3.487

Os dados expostos na Tabela 4.86 foram posteriormente reorganizados sobre a forma de um gráfico, ilustrado na Figura 4.65.



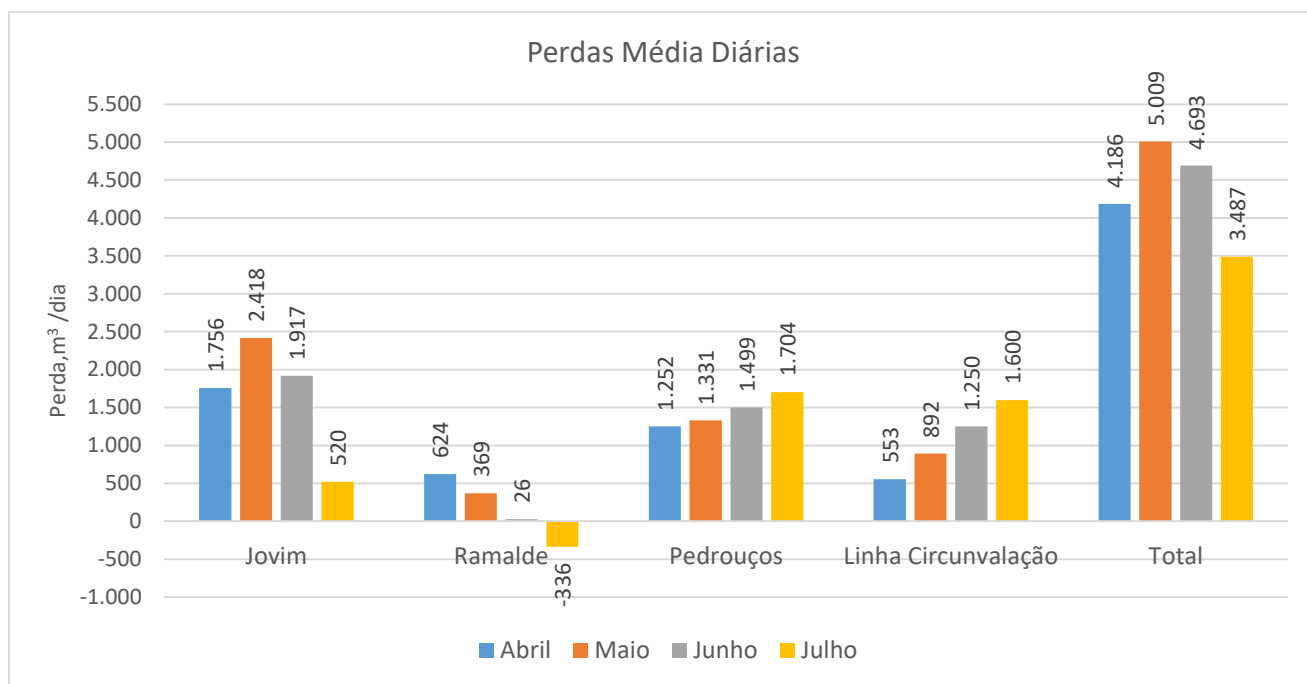


Figura 4.65 – Perdas registadas nas zonas de medição em função do mês.

Da análise dos valores expostos na Tabela 4.86, bem como do gráfico representado na Figura 4.65, denota-se que as perdas determinadas na zona de controlo de Jovim apresentavam uma tendência crescente nos meses de abril e maio, sendo esta tendência contrariada no mês de junho, após a realização do zero ao caudalímetro “900”.

Analisando a zona de medição de Ramalde, salienta-se que os volumes determinados como perda têm evoluído no sentido decrescente, atingindo valores negativos no mês de julho. Esta constatação levanta dúvidas sobre o correto funcionamento dos caudalímetros que monitorizam os volumes de saída do reservatório, sendo conhecido que os caudalímetros da estação elevatória do reservatório de Jovim se encontram com problemas.

Quanto às zonas de medição de Pedrouços e da Linha da Circunvalação, destacam-se como as zonas que carecem de maior atenção, dado que os volumes contabilizados como perda nas duas zonas de medição têm vindo a aumentar, localizando-se o aumento mais significativo na zona de medição da Linha da Circunvalação.

Na zona de medição de Pedrouços, as perdas registadas em julho são superiores na ordem de 36,07% do que as registadas no mês de abril, sendo verificado um aumento de 6,28% e 19,76% dos volumes contabilizados como perda nos meses de maio e junho respetivamente, quando comparado com os volumes obtidos em abril.

Na Figura 4.66, está representado um gráfico que pretende demonstrar a evolução das perdas no subsistema Lever-Norte ao longo dos meses em análise, sendo representado a cor laranja o valor aferido como perda média diária de acordo com a Figura 4.65.

Pela análise da Figura 4.65 e Figura 4.66, pode constatar-se que as perdas totais, verificadas ao longo do mês de abril, apresentavam um valor médio de  $4.186\text{m}^3$ , sendo as zonas de medição e controlo de Jovim e de Pedrouços, as zonas mais problemáticas, representando 42% e 30%, respetivamente, do volume total considerado como perda no sistema adutor Lever-Norte.

Durante o mês de maio, as perdas médias no sistema sofrem um acréscimo de aproximadamente 20% comparativamente ao mês de abril, sendo registados incrementos de 38%, 6% e 61% nas respetivas zonas de medição e controlo de Jovim, Pedrouços e na Linha da Circunvalação. Por sua vez, a zona de medição e controlo de Ramalde apresenta uma redução em média de 41% face aos valores registados no mês de abril. O incremento das perdas em Jovim, pode ser explicado através de um conjunto de condicionantes, nomeadamente, (i) a realização de ensaios nos dias 2 a 4 de maio em Lever-Montante, (ii) a fissura e limpeza da conduta DN1200 e ainda, (iii) o desvio do zero do caudalímetro “900” da DN1000 responsável pela adução de água de Lever-Montante para o reservatório de Jovim.

O desvio do zero do caudalímetro “900” foi corrigido no dia 8 de junho, fazendo reduzir drasticamente as perdas verificadas na zona de medição e controlo de Jovim e, desta forma, as perdas totais. Denota-se uma redução média de aproximadamente 21% das perdas aferidas em Jovim, comparativamente ao mês de maio, refletindo-se num decréscimo de aproximadamente 6% na globalidade do sistema. Este decréscimo é contrariado pelo incremento de aproximadamente 40% das perdas registadas na zona de medição e controlo da linha da Circunvalação.

No mês de julho, o último mês em análise, denota-se uma nova tendência decrescente na globalidade do subsistema Lever-Norte, sendo registada uma redução de aproximadamente 26% face ao mês de junho. Salientando-se, a zona de medição e controlo de Jovim como a que apresenta uma maior redução dos volumes considerados como perda, na ordem dos 73%.

Importa ainda referir que a zona de medição e controlo de Ramalde apresenta, em média, diferenças negativas no mês de julho, sendo verificada uma tendência decrescente das diferenças desde o mês de abril. Por oposição, na zona de medição e controlo da linha da Circunvalação, constata-se uma tendência crescente das perdas, desde o início da análise, sendo recomendado uma maior atenção no que concerne estas duas zonas de medição.

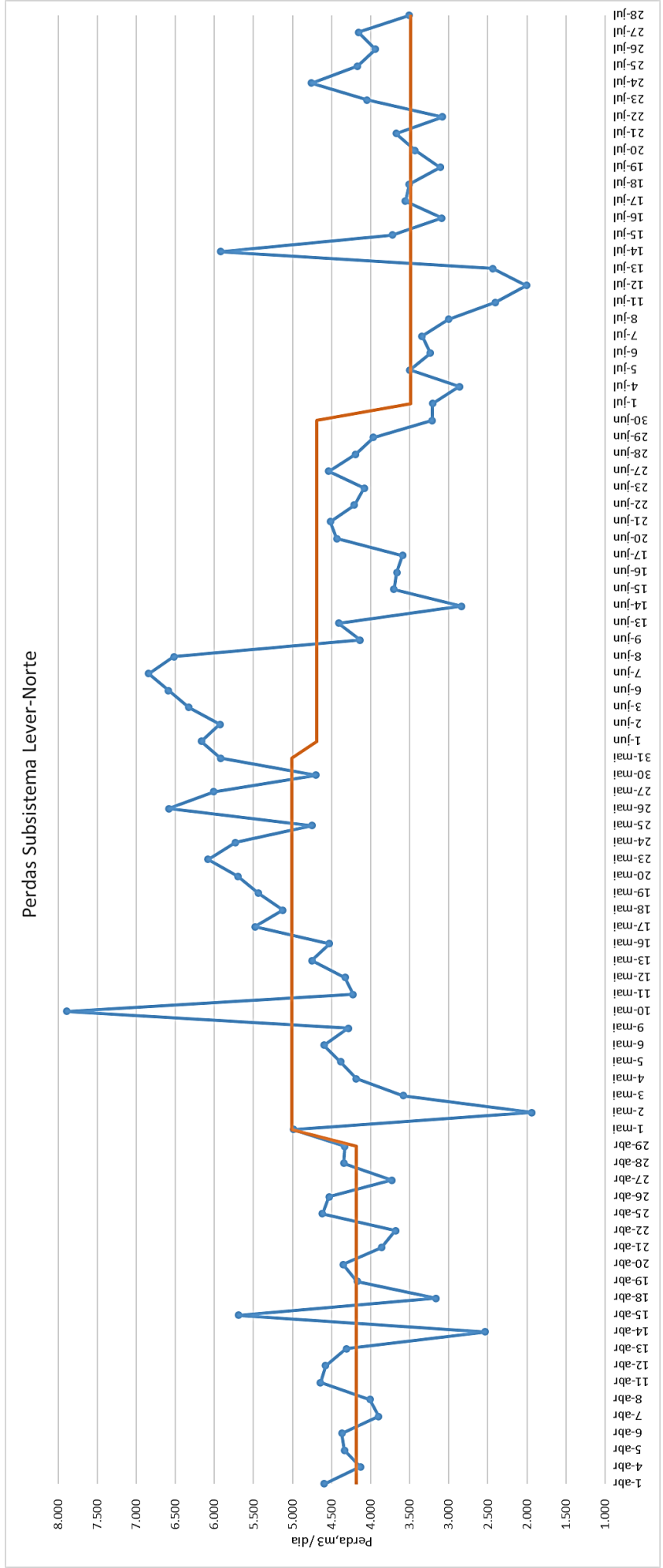


Figura 4.66 — Perdas totais registradas no subsistema Lever-Note ao longo dos meses de abril a julho.





## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

### **5.1 CONCLUSÕES**

O estágio curricular desenvolvido ao longo de seis meses nas instalações das Águas do Norte, Grupo de Águas de Portugal, constituiu um período de transição entre o percurso académico e o início da atividade profissional. Esta experiência permitiu assim, um primeiro contacto com um ambiente de trabalho real, possibilitando a aplicação dos conhecimentos adquiridos ao longo da formação académica.

Este estágio, com enfoque na temática das perdas de água nos sistemas de abastecimento, apresentou como principais objetivos a validação das medições e a definição de zonas de medição e controlo. De um modo geral, os objetivos estabelecidos no início do estágio, foram alcançados.

Do desenvolvimento do plano de trabalhos estipulado, foram criadas ferramentas que se revelaram uma mais valia para a monitorização das perdas ao longo do subsistema Lever-Norte.

Os resultados obtidos das várias análises desenvolvidas para o subsistema Lever-Norte revelaram que as perdas verificadas são na sua maioria aparentes, cuja origem provém da incerteza ou de problemas associados às medições dos equipamentos instalados.

O ensaio realizado para os caudalímetros da captação superficial da ETA de Lever, revelou-se como o ensaio mais problemático, uma vez que não foi possível a obtenção de leituras com o caudalímetro portátil. Desta forma, não foi possível avaliar em detalhe o funcionamento de cada caudalímetro dos grupos eletrobomba da captação superficial da ETA de Lever.

O trabalho desenvolvido constituiu, ainda assim, um marco importante, dado que permitiu apurar a forma de funcionamento dos principais equipamentos de medição do subsistema Lever-Norte. Contudo, algumas das análises realizadas apresentaram resultados inconclusivos, fruto, na maioria dessas situações, da quantidade de variáveis que atuam em simultâneo.

Assim, no futuro, revela-se imprescindível a realização de análises em que estas variáveis sejam mais controladas, por forma a que os resultados obtidos possam ser devidamente aferidos e validados corrigindo eventuais enviesamentos.

## 5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Do trabalho realizado, denota-se a importância dos equipamentos de medição operarem de uma forma correta, pois só assim será possível realizar um controlo eficaz das perdas no sistema de abastecimento de água. Assim, desenvolvimentos futuros deveriam focar-se em:

- Realizar um levantamento das condições de instalação dos equipamentos de medição (caudalímetros e medidores de nível) ao longo da rede;
- Realizar um levantamento das condições de funcionamento dos equipamentos de medição, criando uma base de dados dos parâmetros de leitura para cada equipamento;
- Verificar o “zero” de cada um dos caudalímetros da rede.

Por outro lado, a análise efetuada aos reservatórios do subsistema Lever-Norte, deve estender-se ao subsistema Lever-Sul e ao do Vale do Sousa, permitindo assim a obtenção de um panorama geral das perdas no centro de operações do Grande Porto e Tâmega/Sousa.

Por fim, focando a folha de cálculo desenvolvida para a determinação das perdas na zona de medição e controlo do subsistema Lever-Norte, seria pertinente tornar o processo de cálculo mais dinâmico através da automatização de todo o processo de cálculo.

Com a implementação destas sugestões, estudos futuros poderão evidenciar resultados mais concisos, assim como permitir a realização de outro tipo de análises que permitam o desenvolvimento da presente temática.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEGRE, Helena, et al. – **Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água.** Lisboa : IRAR, LNEC, 2004.

ALEGRE, Helena, et al. – **Controlo de perdas de água em sistemas públicos de adução e distribuição.** Lisboa : IRAR, Instituto da Água, LNEC, 2005. ISBN 972-993-54-4-0.

ÁGUAS DO DOURO E PAIVA, S.A. – Relatório e contas 2014 [Em linha]. Porto: Águas do Douro e Paiva, S.A., 2015. [Consult. 12 Abr. 2016]. Disponível na WWW:<URL:[http://adnorte.pt/downloads/file3\\_pt.pdf](http://adnorte.pt/downloads/file3_pt.pdf)>.

ÁGUAS DO NORTE, S.A. – Águas do Norte : Grupo de águas de Portugal. [Em linha]. Vila Real: Águas do Norte, S.A., 2015. [Consult. 21 Dez. 2015]. Disponível na WWW:<URL:<http://adnorte.pt/>>.

ÁGUAS DO NORTE, S.A. - Relatório e contas do ano de 2015 [Em linha]. Vila Real: Águas do Norte, S.A., 2016. [Consult. 12 Abr. 2016]. Disponível na WWW:<URL:[http://adnorte.pt/downloads/file329\\_pt.pdf](http://adnorte.pt/downloads/file329_pt.pdf)>.

*Avaliação das melhores incertezas de medição de caudal associadas aos caudalímetros eletromagnéticos tubulares utilizados como padrões de transferência no LEHld/LNEC.* Lisboa : LNEC, 2008. [Consult. 20 Jun. 2016]. Disponível na WWW:<URL:<http://repositório.lnec.pt:8080/jspui/handle/123456789/15231>>.

EMERSON PROCESS MANAGEMENT ROSEMOUNT INC. The engineer's guide to level measurement [Em linha]. United States : Rosemount, Inc, 2013. [Consult. 24 Mar. 2016]. Disponível na WWW:<URL:<http://mydigimag.rrd.com/publication/?i=182123>>. ISBN 00805-100-1034.

EPA (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY) - **Control and Mitigation of drinking water losses in distribution systems.** United States : Office of Water, 2010.



ERSAR (ENTIDADE REGULADORA DOS SERVIÇOS DE ÁGUA E RESÍDUOS) – **Relatório anual dos serviços de águas e resíduos em Portugal (2014) : Caracterização geral do setor**. Lisboa : ERSAR, 2015. ISBN 978-989-8360-26-7. 1 vol.

ERSAR (ENTIDADE REGULADORA DOS SERVIÇOS DE ÁGUA E RESÍDUOS) – **Relatório anual dos serviços de águas e resíduos em Portugal (2015) : Caracterização geral do setor água e resíduos (Dados Provisórios)**. Lisboa : ERSAR, 2015. ISBN 978-989-8360-28-1. 1 vol.

GIZ (DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT) GMBH, et al. - **Guidelines for water loss reduction : A focus on pressure management**. Eschborn : Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, 2011.

HAMILTON, Stuart ; MCKENZIE, Ronnie – **Water management and water loss**. Londres : IWA Publishing, 2014. ISBN 978-1-78040-635-0.

HENRIQUE, José Duarte ; Palma, João Carlos ; Ribeiro, Álvaro – **Medição de caudal em sistemas de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais urbanas**. Lisboa : IRAR, LNEC, 2007. ISBN 978-989-95392-1-1.

HOVEY, D. J. ; FARMER, E. J. - Pipeline leak probability and where to target the next maintenance dollar. Pipes & pipelines international. Beaconsfield. ISSN 0032-020X. Vol. 44, n°2 (1999), p. 41-43.

KROHNE – Altosonic ufm 610 p portable system : Installation and operating instruction [Em linha]. [Consult. 24 Mar. 2016]. Disponível na WWW:<URL:<http://www.instrumart.com/products/17907/krohne-ufm-610p>>.

MASHFORD, John, et al. - Leak detection in simulated water pipe networks using SVM. Applied Artificial Intelligence. Reino Unido. ISSN 0883-9514. Vol. 26 (2012), p. 429-444.

PEAASAR (MINISTÉRIO DO AMBIENTE DO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL) – **PEAASAR II : Plano estratégico de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais**. 1.<sup>a</sup> ed. Lisboa : Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, 2007. ISBN 978-989-8097-00-2.

PENSAAR (GRUPO TRABALHO OPERACIONAL E COMISSÃO DE ACOMPANHAMENTO DO PENSAAR 2020) – Fase 1 : Situação de referência. In PENSAAR 2020 : Uma estratégia ao serviço da população: Serviço e qualidade a um preço sustentável. Lisboa : Grupo Trabalho Operacional e Comissão de Acompanhamento do PENSAAR 2020, 2015. Vol.1.

PENSAAR (GRUPO TRABALHO OPERACIONAL E COMISSÃO DE ACOMPANHAMENTO DO PENSAAR 2020) – Fase 2, 3 e 4 : Quadro estratégico, plano de ação, plano de gestão. In PENSAAR 2020 : Uma estratégia ao serviço da população: Serviço e qualidade a um preço sustentável. Lisboa : Grupo Trabalho Operacional e Comissão de Acompanhamento do PENSAAR 2020, 2015. Vol.2.

NEVES, Nuno Valente – Estudo sobre perdas de água [Texto policopiado] : Relatório de estágio. Porto : [s.n.], 2015. Dissertação de Mestrado.

PEREIRA, Mariana Ventura - Implementação e monitorização de uma zona de medição e controlo no sistema de abastecimento de Matosinhos [Texto policopiado]. Porto : [s.n.], 2012. Dissertação de Mestrado.

RAO, Madireddi - Water conservation [Em linha] : Management and analysis. Nova Deli : Readworthy, 2011. [Consult. 13 Dez. 2015]. Disponível na WWW:<URL:  
<https://books.google.pt/books?id=kU45RLAY0EAC&lpq=PR8&ots=aTNb7USLZv&dq=Water%20Conservation%2C%20Management%20and%20Analysis&hl=pt-PT&pg=PP1#v=onepage&q=Water%20Conservation,%20Management%20and%20Analysis&f=false>>.

*SIGA (Solução integrada na gestão de água)* [Em linha]. Leiria : pinto&braz, 2014. [Consult. 5 Mai. 2016]. Disponível na WWW:<URL:[http://pintobraz.com/Ap\\_SIGA\\_web\\_dupla\\_face.pdf](http://pintobraz.com/Ap_SIGA_web_dupla_face.pdf)>.

SOUSA, Eduardo Ribeiro – Sistemas de abastecimento de água [Texto policopiado] : Constituição e bases quantitativas de dimensionamento. Lisboa : [s.n.], 2001. Dissertação de Licenciatura.

VEGA – Hydrostatic [Em linha]. [Consult. 24 Mar. 2016]. Disponível na WWW:<URL:<http://www.vega.com/en/Products/Product-catalog/Level/Hydrostatic>>.

VEGA – Product information ultrasonic : Level measurement in liquids and buk solids [Em linha]. [Consult. 24 Mar. 2016]. Disponível na WWW:<URL:<http://www.vega.com/en/Products/Product-catalog/Level/Ultrasonic>>.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

VIVAS, Eduardo ; OLIVEIRA, Maria Manuela – *Sistemas de abastecimento de água* [Apresentação Power Point]. [Consult. 19 Dez. 2015]. Disponível na

WWW:<URL:[https://moodle.isep.ipp.pt/pluginfile.php/35438/mod\\_folder/content/0/Aulas%20T/HIDUR\\_Aula%20T2\\_V0.pdf?forcedownload=1](https://moodle.isep.ipp.pt/pluginfile.php/35438/mod_folder/content/0/Aulas%20T/HIDUR_Aula%20T2_V0.pdf?forcedownload=1)>.

WIKA – Hydrostatic level measurement. [Em linha]. Alemanha: WIKA Alexander Wiegand SE & CO. KG, 2016. [Consult. 24 Mar. 2016]. Disponível na WWW:<URL:[https://en-co.wika.de/ms\\_hl\\_knowledge\\_how\\_to\\_do\\_en\\_co.WIKA](https://en-co.wika.de/ms_hl_knowledge_how_to_do_en_co.WIKA)>.

## **ANEXOS**

### **A – Validações e Ensaio – Diários**

1. Reservatório de Ramalde.
2. Reservatório de Monte Pedro.
3. Reservatório de Pedrouços.
4. Reservatório de Lagoa.
5. Reservatório de Seixo Alvo.

### **B – Validações e Ensaio – Horas de Ponta**

1. Reservatório de Ramalde.
2. Reservatório de Monte Pedro.
3. Reservatório de Pedrouços.
4. Reservatório de Lagoa.
5. Reservatório de Seixo Alvo.

### **C – Validações e Ensaio – Caudalímetros**

1. “930” – Saída Gravítica Lagoa.
2. “312” e “360” – Estação Elevatória de Jovim.

### **D – Validações e Ensaio – Estação Tratamento de Águas de Lever**

1. Avaliação Perdas Subsistema Lever-Norte.

### **E – Zonas de Medição e Controlo**

1. Perdas Subsistema Lever-Norte, abril.
2. Perdas Subsistema Lever-Norte, maio.
3. Perdas Subsistema Lever-Norte, junho.
4. Perdas Subsistema Lever-Norte, julho.

## A – Validações e Ensaio – Diários

## 1. Reservatório de Ramalde.

Data Início	Data Fim	Volume Entrada (m³)	Volume Saída (m³)	Variação Volume (m³)	Perda (m³)
01-03-2016 10:00	02-03-2016 10:00	144.987	145.138	261	-413
02-03-2016 10:00	03-03-2016 10:00	139.124	139.159	310	-345
03-03-2016 10:00	04-03-2016 10:00	139.460	139.762	180	-482
04-03-2016 10:00	05-03-2016 10:00	138.338	139.065	-409	-319
05-03-2016 10:00	06-03-2016 10:00	147.240	146.045	2.043	-848
06-03-2016 10:00	07-03-2016 10:00	133.449	135.151	-1.830	128
07-03-2016 10:00	08-03-2016 10:00	141.759	143.425	-1.438	-228
08-03-2016 10:00	09-03-2016 10:00	139.181	139.162	588	-569
09-03-2016 10:00	10-03-2016 10:00	133.382	132.758	686	-62
10-03-2016 10:00	11-03-2016 10:00	134.180	134.258	327	-405
11-03-2016 10:00	12-03-2016 10:00	149.257	149.547	-49	-241
12-03-2016 10:00	13-03-2016 10:00	150.430	149.745	1.046	-361
13-03-2016 10:00	14-03-2016 10:00	142.809	145.475	-2.435	-231
14-03-2016 10:00	15-03-2016 10:00	133.554	132.672	1.503	-621
15-03-2016 10:00	16-03-2016 10:00	143.553	144.858	-1.095	-210
16-03-2016 10:00	17-03-2016 10:00	144.117	143.688	801	-372
17-03-2016 10:00	18-03-2016 10:00	143.775	144.584	-752	-57
18-03-2016 10:00	19-03-2016 10:00	139.336	139.205	82	49
19-03-2016 10:00	20-03-2016 10:00	139.335	138.387	1.389	-441
20-03-2016 10:00	21-03-2016 10:00	139.760	140.702	-1.078	136

## 2. Reservatório de Monte Pedro.

Data Início	Data Fim	Volume Entrada (m³)	Volume Saída (m³)	Variação Volume (m³)	Perda (m³)
01-03-2016 10:00	02-03-2016 10:00	7.224	6.578	333	313
02-03-2016 10:00	03-03-2016 10:00	6.152	6.190	-258	220
03-03-2016 10:00	04-03-2016 10:00	10.756	10.482	-107	381
04-03-2016 10:00	05-03-2016 10:00	7.648	7.054	324	270
05-03-2016 10:00	06-03-2016 10:00	8.528	8.187	3	338
06-03-2016 10:00	07-03-2016 10:00	8.056	7.772	-44	328
07-03-2016 10:00	08-03-2016 10:00	7.508	7.234	6	268
08-03-2016 10:00	09-03-2016 10:00	7.816	7.516	19	281
09-03-2016 10:00	10-03-2016 10:00	7.528	7.385	-141	284
10-03-2016 10:00	11-03-2016 10:00	7.980	7.673	16	291
11-03-2016 10:00	12-03-2016 10:00	8.048	7.752	9	287
12-03-2016 10:00	13-03-2016 10:00	11.572	11.097	145	330
13-03-2016 10:00	14-03-2016 10:00	7.524	7.283	-25	266
14-03-2016 10:00	15-03-2016 10:00	7.744	7.569	-60	235
15-03-2016 10:00	16-03-2016 10:00	7.600	7.852	-443	191
16-03-2016 10:00	17-03-2016 10:00	7.812	7.173	396	243
17-03-2016 10:00	18-03-2016 10:00	7.588	7.653	-242	177
18-03-2016 10:00	19-03-2016 10:00	8.124	7.538	342	244
19-03-2016 10:00	20-03-2016 10:00	8.568	8.812	-452	208
20-03-2016 10:00	21-03-2016 10:00	7.844	7.091	478	275

### 3. Reservatório de Pedrouços.

Data Início	Data Fim	Volume Entrada (m³)	Volume Saída (m³)	Variação Volume (m³)	Perda (m³)
01-03-2016 10:00	02-03-2016 10:00	61.792	67.461	403	-6.072
02-03-2016 10:00	03-03-2016 10:00	61.640	69.556	1.388	-9.304
03-03-2016 10:00	04-03-2016 10:00	55.704	64.850	-886	-8.260
04-03-2016 10:00	05-03-2016 10:00	61.736	68.727	2.072	-9.063
05-03-2016 10:00	06-03-2016 10:00	61.680	71.227	35	-9.582
06-03-2016 10:00	07-03-2016 10:00	54.200	63.368	-1.371	-7.797
07-03-2016 10:00	08-03-2016 10:00	64.272	73.369	835	-9.932
08-03-2016 10:00	09-03-2016 10:00	58.248	67.439	-559	-8.632
09-03-2016 10:00	10-03-2016 10:00	54.368	62.970	-344	-8.258
10-03-2016 10:00	11-03-2016 10:00	56.280	64.920	-290	-8.350
11-03-2016 10:00	12-03-2016 10:00	65.912	75.236	756	-10.080
12-03-2016 10:00	13-03-2016 10:00	59.008	68.684	-460	-9.216
13-03-2016 10:00	14-03-2016 10:00	61.408	69.712	1.152	-9.456
14-03-2016 10:00	15-03-2016 10:00	53.376	63.154	-1.629	-8.149
15-03-2016 10:00	16-03-2016 10:00	66.048	76.498	-627	-9.823
16-03-2016 10:00	17-03-2016 10:00	62.848	72.074	157	-9.383
17-03-2016 10:00	18-03-2016 10:00	65.840	74.185	1.471	-9.816
18-03-2016 10:00	19-03-2016 10:00	59.432	67.721	512	-8.801
19-03-2016 10:00	20-03-2016 10:00	56.648	67.790	-2.555	-8.587
20-03-2016 10:00	21-03-2016 10:00	57.968	66.026	673	-8.731



#### 4. Reservatório de Lagoa.

Data Início	Data Fim	Volume Entrada (m³)	Volume Saída (m³)	Variação Volume (m³)	Perda (m³)
01-03-2016 10:00	02-03-2016 10:00	97.668	95.002	2.211	455
02-03-2016 10:00	03-03-2016 10:00	93.272	92.494	198	580
03-03-2016 10:00	04-03-2016 10:00	92.688	94.528	-2.904	1.064
04-03-2016 10:00	05-03-2016 10:00	93.284	91.958	594	732
05-03-2016 10:00	06-03-2016 10:00	75.184	86.436	-11.847	595
06-03-2016 10:00	07-03-2016 10:00	96.584	82.306	13.233	1.045
07-03-2016 10:00	08-03-2016 10:00	90.464	90.142	-627	949
08-03-2016 10:00	09-03-2016 10:00	91.028	90.374	-264	918
09-03-2016 10:00	10-03-2016 10:00	91.480	90.832	462	186
10-03-2016 10:00	11-03-2016 10:00	95.876	95.586	330	-40
11-03-2016 10:00	12-03-2016 10:00	91.344	95.108	-4.059	295
12-03-2016 10:00	13-03-2016 10:00	82.240	93.724	-11.319	-165
13-03-2016 10:00	14-03-2016 10:00	104.784	89.214	15.444	126
14-03-2016 10:00	15-03-2016 10:00	92.016	94.192	-2.046	-130
15-03-2016 10:00	16-03-2016 10:00	89.280	90.492	-1.188	-24
16-03-2016 10:00	17-03-2016 10:00	92.132	94.250	-2.178	60
17-03-2016 10:00	18-03-2016 10:00	97.488	92.792	4.950	-254
18-03-2016 10:00	19-03-2016 10:00	95.400	93.906	1.551	-57
19-03-2016 10:00	20-03-2016 10:00	68.408	80.918	-12.705	195
20-03-2016 10:00	21-03-2016 10:00	100.668	89.056	11.583	29

## 5. Reservatório de Seixo Alvo.

Data Início	Data Fim	Volume Entrada (m³)	Volume Saída (m³)	Variação Volume (m³)	Perda (m³)
01-03-2016 10:00	02-03-2016 10:00	88.129	87.527	412	190
02-03-2016 10:00	03-03-2016 10:00	82.941	83.951	-520	-490
03-03-2016 10:00	04-03-2016 10:00	85.798	85.873	27	-102
04-03-2016 10:00	05-03-2016 10:00	83.506	82.852	932	-278
05-03-2016 10:00	06-03-2016 10:00	83.788	86.695	-2.628	-279
06-03-2016 10:00	07-03-2016 10:00	88.500	85.977	2.312	211
07-03-2016 10:00	08-03-2016 10:00	82.252	84.140	-1.746	-142
08-03-2016 10:00	09-03-2016 10:00	84.722	83.505	1.430	-213
09-03-2016 10:00	10-03-2016 10:00	83.996	84.104	-23	-85
10-03-2016 10:00	11-03-2016 10:00	86.884	87.271	-158	-229
11-03-2016 10:00	12-03-2016 10:00	87.699	87.399	385	-85
12-03-2016 10:00	13-03-2016 10:00	88.883	90.085	-1.022	-180
13-03-2016 10:00	14-03-2016 10:00	87.615	86.956	896	-237
14-03-2016 10:00	15-03-2016 10:00	85.683	85.971	-104	-184
15-03-2016 10:00	16-03-2016 10:00	82.776	82.545	285	-54
16-03-2016 10:00	17-03-2016 10:00	87.129	87.552	-249	-174
17-03-2016 10:00	18-03-2016 10:00	84.991	84.945	185	-139
18-03-2016 10:00	19-03-2016 10:00	85.954	86.873	-520	-399
19-03-2016 10:00	20-03-2016 10:00	87.350	88.240	-914	24
20-03-2016 10:00	21-03-2016 10:00	87.671	86.408	1.448	-185

## B – Validações e Ensaio – Horas de Ponta

## 1. Reservatório de Ramalde.

Data	Horas	Volume Entrada (m³)	Volume Saída (m³)	Variação Volume (m³)	Perda (m³)
01-03-2016	10h-12h	0	5.121	-5.343	222
02-03-2016		2	4.182	-4.494	314
03-03-2016		0	4.685	-4.706	21
08-03-2016		2.301	6.327	-3.905	-121
09-03-2016		0	4.577	-4.722	145
10-03-2016		0	4.960	-5.049	89
15-03-2016		2	4.481	-4.559	80
16-03-2016		0	6.090	-6.291	201
17-03-2016		0	5.249	-5.360	111
01-03-2016	19h-21h	1	6.978	-7.206	229
02-03-2016		0	6.859	-7.075	216
03-03-2016		0	6.312	-6.487	175
08-03-2016		0	6.657	-6.830	173
09-03-2016		0	8.436	-8.644	208
10-03-2016		0	9.043	-9.216	173
15-03-2016		0	7.277	-7.712	435
16-03-2016		0	6.054	-6.242	188
17-03-2016		0	6.299	-6.454	155

## 2. Reservatório de Monte Pedro.

Data	Horas	Volume Entrada (m³)	Volume Saída (m³)	Variação Volume (m³)	Perda (m³)
01-03-2016	10h-12h	0	488	-493	5
02-03-2016		0	160	-151	-9
03-03-2016		0	595	-587	-8
08-03-2016		0	834	-833	-1
09-03-2016		0	632	-635	3
10-03-2016		0	634	-625	-9
15-03-2016		0	332	-333	1
16-03-2016		0	454	-427	-27
17-03-2016		0	758	-732	-26
01-03-2016	19h-21h	0	938	-851	-87
02-03-2016		0	724	-757	33
03-03-2016		0	942	-895	-47
08-03-2016		0	768	-723	-45
09-03-2016		0	908	-826	-82
10-03-2016		0	808	-754	-54
15-03-2016		0	384	-339	-45
16-03-2016		0	864	-804	-60
17-03-2016		0	958	-905	-53

### 3. Reservatório de Pedrouços.

Data	Horas	Volume Entrada (m³)	Volume Saída (m³)	Variação Volume (m³)	Perda (m³)
01-03-2016	10h-12h	1.672	6.780	-4.801	-307
02-03-2016		1.640	7.240	-5.272	-328
03-03-2016		1.648	7.201	-5.186	-367
08-03-2016		2.064	6.573	-4.029	-480
09-03-2016		1.576	5.507	-3.686	-245
10-03-2016		1.608	6.627	-4.848	-171
15-03-2016		1.784	6.847	-4.745	-318
16-03-2016		2.688	6.204	-3.117	-399
17-03-2016		1.720	6.908	-4.935	-253
01-03-2016	19h-21h	2.280	6.791	-4.416	-95
02-03-2016		2.280	6.372	-3.989	-103
03-03-2016		2.264	5.834	-3.512	-58
08-03-2016		1.800	6.901	-5.080	-21
09-03-2016		4.016	6.520	-2.074	-430
10-03-2016		4.152	6.438	-1.927	-359
15-03-2016		2.400	8.445	-5.656	-389
16-03-2016		1.712	7.883	-6.210	39
17-03-2016		1.808	7.498	-5.594	-96

#### 4. Reservatório de Lagoa.

Data	Horas	Volume Entrada (m <sup>3</sup> )	Volume Saída (m <sup>3</sup> )	Variação Volume (m <sup>3</sup> )	Perda (m <sup>3</sup> )
01-03-2016	10h-12h	0	8.636	-8.778	142
02-03-2016		0	9.172	-9.438	266
03-03-2016		0	8.998	-9.306	308
08-03-2016		0	8.942	-9.141	199
09-03-2016		0	9.040	-9.240	200
10-03-2016		0	8.564	-8.778	214
15-03-2016		0	9.048	-9.273	225
16-03-2016		0	8.054	-8.184	130
17-03-2016		0	8.822	-8.976	154
01-03-2016	19h-21h	0	8.716	-8.811	95
02-03-2016		0	8.832	-9.009	177
03-03-2016		0	8.804	-8.943	139
08-03-2016		0	7.916	-8.118	202
09-03-2016		0	7.782	-7.953	171
10-03-2016		0	8.938	-9.108	170
15-03-2016		0	8.460	-8.514	54
16-03-2016		0	8.618	-8.745	127
17-03-2016		0	8.698	-8.811	113

## 5. Reservatório de Seixo Alvo.

Data	Horas	Volume Entrada (m³)	Volume Saída (m³)	Variação Volume (m³)	Perda (m³)
01-03-2016	10h-12h	3.020	4.968	-1.923	-25
02-03-2016		3.556	4.966	-1.289	-121
03-03-2016		3.358	5.138	-1.746	-34
08-03-2016		3.514	5.593	-1.031	-1048
09-03-2016		3.473	4.899	-1.448	22
10-03-2016		3.026	4.606	-1.624	44
15-03-2016		3.477	4.861	-1.262	-122
16-03-2016		2.562	5.170	-2.484	-124
17-03-2016		3.441	5.226	-1.674	-111
01-03-2016	19h-21h	3.060	4.269	-1.086	-123
02-03-2016		2.528	3.998	-1.525	55
03-03-2016		2.513	4.280	-1.819	52
08-03-2016		2.402	4.629	-2.072	-155
09-03-2016		2.632	4.186	-1.362	-192
10-03-2016		2.531	4.793	-2.212	-50
15-03-2016		2.393	3.726	-1.244	-89
16-03-2016		2.977	3.900	-878	-45
17-03-2016		2.485	4.255	-1.674	-96



## C – Validações e Ensaio – Caudalímetros

# 1. “930” – Saída Gravítica Lagoa.

Dia/Hora	Nível (m)		$\Delta$ Variação de Nível (m)		$\Delta$ Volume Níveis (m³)	Volumes 930 (m³)	Perda (m³)
	Norte	Sul	Norte	Sul			
02-abril							
20:00	3,67	3,69	-	-	-	-	-
20:30	3,46	3,47	-0,21	-0,22	-1419	1346	-73
21:00	3,25	3,26	-0,21	-0,21	-1386	1368	-18
21:30	3,04	3,06	-0,21	-0,2	-1353	1352	-1
22:00	2,84	2,86	-0,2	-0,2	-1320	1328	8
22:30	2,64	2,66	-0,2	-0,2	-1320	1304	-16
23:00	2,44	2,46	-0,2	-0,2	-1320	1296	-24
23:30	2,24	2,26	-0,2	-0,2	-1320	1288	-32
00:00	2,05	2,07	-0,19	-0,19	-1254	1288	34
00:30	1,85	1,87	-0,2	-0,2	-1320	1280	-40
01:00	1,66	1,68	-0,19	-0,19	-1254	1264	10

2. “312” e “360” – Estação Elevatória de Jovim.

Análise dia 22 de Junho.

Dia/Hora	Nível (m)			Δ Variação de Nível (m)			ΣVolume (m3)	Volumes Entrada (m3)	Volumes Saída (m3)	Diferença (m3)
	Norte	Sul	Central	Norte	Sul	Central				
22-jun										
13:00	5	5,02	5,02	-	-	-	-	-	-	-
13:30	4,86	4,88	4,89	-0,14	-0,14	-0,13	-906	3.384	4.188	102
14:00	4,66	4,7	4,69	-0,2	-0,18	-0,2	-1.239	3.376	4.428	187
14:30	4,35	4,38	4,37	-0,31	-0,32	-0,32	-2.050	3.388	5.377	61
15:00	4,04	4,06	4,06	-0,31	-0,32	-0,31	-2.046	3.408	5.334	120
15:30	3,78	3,79	3,82	-0,26	-0,27	-0,24	-1.713	3.504	5.304	-88
16:00	3,82	3,82	3,85	0,04	0,03	0,03	226	4.344	4.140	-21
16:30	3,85	3,85	3,88	0,03	0,03	0,03	195	4.340	4.071	74
17:00	3,88	3,88	3,91	0,03	0,03	0,03	195	4.340	4.087	58
17:30	3,8	3,81	3,83	-0,08	-0,07	-0,08	-490	4.336	4.597	229
18:00	3,64	3,65	3,67	-0,16	-0,16	-0,16	-1.040	4.348	5.290	98
18:30	3,5	3,52	3,53	-0,14	-0,13	-0,14	-880	4.352	5.270	-39
19:00	3,37	3,39	3,39	-0,13	-0,13	-0,14	-849	4.380	5.249	-20
19:30	3,24	3,26	3,27	-0,13	-0,13	-0,12	-841	4.384	5.227	-2
20:00	3,14	3,15	3,16	-0,1	-0,11	-0,11	-685	4.396	5.210	-130
20:30	3,19	3,2	3,21	0,05	0,05	0,05	325	4.392	4.034	33
21:00	3,17	3,2	3,21	-0,02	0	0	-61	4.116	4.057	120
21:30	3,16	3,18	3,2	-0,01	-0,02	-0,01	-95	3.500	3.630	-35
22:00	3,33	3,36	3,39	0,17	0,18	0,19	1.144	3.512	2.501	-132
22:30	3,57	3,6	3,63	0,24	0,24	0,24	1.560	3.508	1.808	140
23:00	3,82	3,84	3,87	0,25	0,24	0,24	1.591	3.476	1.813	73
23:30	3,96	3,98	4	0,14	0,14	0,13	906	2.792	1.823	63
00:00	4,04	4,06	4,09	0,08	0,08	0,09	524	2.340	1.825	-9
00:30	4,12	4,14	4,17	0,08	0,08	0,08	520	2.336	1.830	-14
01:00	4,24	4,26	4,27	0,12	0,12	0,1	772	3.892	3.154	-34
01:30	4,19	4,22	4,22	-0,05	-0,04	-0,05	-294	4.328	4.398	224
02:00	4,1	4,13	4,13	-0,09	-0,09	-0,09	-585	4.316	4.827	74
02:30	4,02	4,05	4,05	-0,08	-0,08	-0,08	-520	4.324	4.821	23
03:00	3,94	3,97	3,97	-0,08	-0,08	-0,08	-520	4.356	4.816	60
03:30	3,87	3,9	3,9	-0,07	-0,07	-0,07	-455	4.388	4.797	46
04:00	3,82	3,85	3,85	-0,05	-0,05	-0,05	-325	4.416	4.714	27
04:30	3,78	3,8	3,81	-0,04	-0,05	-0,04	-291	4.432	4.674	49
05:00	3,74	3,77	3,77	-0,04	-0,03	-0,04	-229	4.456	4.676	9
05:30	3,71	3,73	3,75	-0,03	-0,04	-0,02	-222	4.484	4.653	53
06:00	3,5	3,53	3,51	-0,21	-0,2	-0,24	-1.347	4.516	5.713	150
06:30	3,37	3,39	3,39	-0,13	-0,14	-0,12	-871	4.512	5.536	-153
07:00	3,44	3,45	3,47	0,07	0,06	0,08	429	4.532	4.184	-80
07:30	3,52	3,53	3,55	0,08	0,08	0,08	520	4.524	3.947	57
08:00	3,6	3,58	3,62	0,08	0,05	0,07	425	4.520	3.947	148
08:30	3,6	3,61	3,62	0	0,03	0	91	4.516	4.227	198
09:00	3,5	3,52	3,52	-0,1	-0,09	-0,1	-620	4.516	5.182	-47

Dia/Hora	Volumes 900 (m3)	Volumes 901 (m3)	Volumes 930 (m3)	Volumes 360 (m3)	Volumes 312 (m3)	Volumes 350 (m3)	Volumes 352 (m3)
22-jun							
13:00	-	-	-	-	-	-	-
13:30	1032	1056	1296	0	3616	88	484
14:00	1024	1048	1304	256	3600	88	484
14:30	1028	1048	1312	1253	3552	88	484
15:00	1028	1052	1328	1246	3520	88	480
15:30	1060	1100	1344	1237	3504	87	476
16:00	1400	1600	1344	68	3504	88	480
16:30	1400	1596	1344	0	3504	87	480
17:00	1400	1596	1344	0	3520	87	480
17:30	1400	1600	1336	542	3488	87	480
18:00	1404	1600	1344	1239	3488	87	476
18:30	1404	1604	1344	1235	3472	87	476
19:00	1412	1608	1360	1230	3456	87	476
19:30	1412	1604	1368	1229	3440	86	472
20:00	1412	1608	1376	1211	3440	87	472
20:30	1412	1612	1368	35	3440	87	472
21:00	1296	1444	1376	555	2944	86	472
21:30	1056	1076	1368	1231	1840	87	472
22:00	1060	1084	1368	1238	704	87	472
22:30	1064	1092	1352	1245	0	87	476
23:00	1064	1092	1320	1249	0	88	476
23:30	728	776	1288	1255	0	88	480
00:00	492	576	1272	1254	0	87	484
00:30	492	580	1264	1258	0	88	484
01:00	1200	1436	1256	1254	1328	88	484
01:30	1396	1676	1256	1922	1904	88	484
02:00	1388	1664	1264	2367	1888	88	484
02:30	1380	1656	1288	2365	1888	88	480
03:00	1384	1660	1312	2360	1888	88	480
03:30	1388	1664	1336	2357	1872	88	480
04:00	1384	1664	1368	2355	1872	87	400
04:30	1384	1664	1384	2354	1872	88	360
05:00	1384	1664	1408	2352	1872	88	364
05:30	1388	1664	1432	2350	1856	87	360
06:00	1388	1672	1456	2341	2928	88	356
06:30	1380	1660	1472	1617	3472	87	360
07:00	1384	1660	1488	236	3504	88	356
07:30	1376	1660	1488	0	3504	87	356
08:00	1376	1656	1488	0	3504	87	356
08:30	1376	1660	1480	275	3504	88	360
09:00	1380	1656	1480	1234	3504	88	356

Análise dia 24 de junho.

Dia/Hora	Nível (m)			Δ Variação de Nível (m)			ΣVolume (m3)	Volumes Entrada (m3)	Volumes Saída (m3)	Diferença (m3)
	Norte	Sul	Central	Norte	Sul	Central				
22-jun										
13:00	4,92	4,95	4,94	-	-	-	-	-	-	-
13:30	4,79	4,8	4,81	-0,13	-0,15	-0,13	-906	3.388	4.236	58
14:00	4,65	4,67	4,67	-0,14	-0,13	-0,14	-879	3.396	4.232	43
14:30	4,51	4,53	4,54	-0,14	-0,14	-0,13	-906	3.408	4.220	94
15:00	4,38	4,4	4,41	-0,13	-0,13	-0,13	-845	3.420	4.196	69
15:30	4,26	4,27	4,28	-0,12	-0,13	-0,13	-815	3.428	4.200	43
16:00	4,14	4,14	4,17	-0,12	-0,13	-0,11	-807	3.432	4.180	59
16:30	4,02	4,03	4,05	-0,12	-0,11	-0,12	-749	3.456	4.159	46
17:00	3,91	3,91	3,94	-0,11	-0,12	-0,11	-745	3.468	4.144	69
17:30	3,8	3,8	3,83	-0,11	-0,11	-0,11	-715	3.488	4.143	60
18:00	3,7	3,69	3,72	-0,1	-0,11	-0,11	-684	3.488	4.123	49
18:30	3,6	3,59	3,62	-0,1	-0,1	-0,1	-650	3.496	4.123	23
19:00	3,5	3,51	3,53	-0,1	-0,08	-0,09	-585	3.500	4.103	-18
19:30	3,41	3,43	3,44	-0,09	-0,08	-0,09	-554	3.520	4.088	-14
20:00	3,32	3,34	3,35	-0,09	-0,09	-0,09	-585	3.512	4.087	10
20:30	3,23	3,25	3,25	-0,09	-0,09	-0,1	-589	3.496	4.087	-2
21:00	3,14	3,16	3,17	-0,09	-0,09	-0,08	-581	3.472	4.067	-14
21:30	3,13	3,14	3,15	-0,01	-0,02	-0,02	-100	3.884	4.051	-67
22:00	3,15	3,16	3,18	0,02	0,02	0,03	134	4.312	4.067	111
22:30	3,18	3,19	3,21	0,03	0,03	0,03	195	4.280	4.067	18
23:00	3,2	3,21	3,22	0,02	0,02	0,01	126	4.280	4.051	103
23:30	3,21	3,23	3,24	0,01	0,02	0,02	99	4.244	4.067	78
00:00	3,23	3,25	3,26	0,02	0,02	0,02	130	4.276	4.067	79
00:30	3,25	3,27	3,28	0,02	0,02	0,02	130	4.248	4.052	66
01:00	3,29	3,3	3,31	0,04	0,03	0,03	226	4.264	3.971	68
01:30	3,32	3,33	3,35	0,03	0,03	0,04	199	4.260	3.959	102
02:00	3,35	3,37	3,38	0,03	0,04	0,03	226	4.264	3.971	67
02:30	3,38	3,4	3,42	0,03	0,03	0,04	199	4.272	3.955	118
03:00	3,43	3,44	3,45	0,05	0,04	0,03	287	4.304	3.976	41
03:30	3,47	3,48	3,49	0,04	0,04	0,04	260	4.320	3.987	73
04:00	3,51	3,52	3,54	0,04	0,04	0,05	264	4.352	3.975	113
04:30	3,56	3,55	3,58	0,05	0,03	0,04	260	4.368	3.972	136
05:00	3,61	3,61	3,64	0,05	0,06	0,06	360	4.400	3.991	50
05:30	3,67	3,66	3,69	0,06	0,05	0,05	356	4.400	3.987	57
06:00	3,73	3,73	3,76	0,06	0,07	0,07	425	4.424	4.008	-8
06:30	3,79	3,79	3,81	0,06	0,06	0,05	386	4.436	3.991	59
07:00	3,85	3,85	3,88	0,06	0,06	0,07	394	4.436	4.008	34
07:30	3,91	3,91	3,93	0,06	0,06	0,05	386	4.440	4.023	31
08:00	3,97	3,97	3,99	0,06	0,06	0,06	390	4.420	4.012	18
08:30	4,02	4,02	4,05	0,05	0,05	0,06	329	4.424	4.028	67
09:00	4,08	4,08	4,1	0,06	0,06	0,05	386	4428	4028	14

Dia/Hora	Volumes 900 (m3)	Volumes 901 (m3)	Volumes 930 (m3)	Volumes 360 (m3)	Volumes 312 (m3)	Volumes 350 (m3)	Volumes 352 (m3)
24-jun							
13:00	-	-	-	-	-	-	-
13:30	1020	1056	1312	0	3632	88	516
14:00	1020	1056	1320	0	3632	88	512
14:30	1024	1056	1328	0	3616	88	516
15:00	1024	1060	1336	0	3600	88	508
15:30	1024	1060	1344	0	3600	88	512
16:00	1024	1056	1352	0	3584	88	508
16:30	1024	1064	1368	0	3568	87	504
17:00	1024	1060	1384	0	3552	88	504
17:30	1036	1060	1392	0	3552	87	504
18:00	1028	1060	1400	0	3536	87	500
18:30	1028	1060	1408	0	3536	87	500
19:00	1024	1060	1416	0	3520	87	496
19:30	1032	1064	1424	0	3504	88	496
20:00	1028	1060	1424	0	3504	87	496
20:30	1028	1060	1408	0	3504	87	496
21:00	1028	1060	1384	0	3488	87	492
21:30	1204	1304	1376	0	3472	87	492
22:00	1388	1564	1360	0	3488	87	492
22:30	1380	1556	1344	0	3488	87	492
23:00	1384	1560	1336	0	3472	87	492
23:30	1380	1552	1312	0	3488	87	492
00:00	1400	1572	1304	0	3488	87	492
00:30	1388	1564	1296	0	3488	88	476
01:00	1392	1568	1304	0	3504	87	380
01:30	1392	1564	1304	0	3488	87	384
02:00	1392	1568	1304	0	3504	87	380
02:30	1396	1564	1312	0	3488	87	380
03:00	1396	1572	1336	0	3504	88	384
03:30	1396	1572	1352	0	3520	87	380
04:00	1396	1572	1384	0	3504	87	384
04:30	1400	1576	1392	0	3504	88	380
05:00	1404	1580	1416	0	3520	87	384
05:30	1396	1572	1432	0	3520	87	380
06:00	1400	1576	1448	0	3536	88	384
06:30	1400	1580	1456	0	3520	87	384
07:00	1396	1576	1464	0	3536	88	384
07:30	1396	1572	1472	0	3552	87	384
08:00	1384	1564	1472	0	3536	88	388
08:30	1388	1564	1472	0	3552	88	388
09:00	1384	1564	1480	0	3552	88	388

## D – Validações e Ensaios – Estação Tratamento de Águas de Lever

## 1. Avaliação Perdas Subsistema Lever-Norte.

Data		Volume Entrada Ramalde (m³)	Volume 365 + 368 (m³)	Volume 433 + 435 (m³)	Volume Linha Ramalde- Pedrouços (m³)	Δ Volumes Jovim (m³)	Δ Volumes Ramalde (m³)	Δ Volumes Monte Pedro (m³)	Δ Volumes Pedrouços (m³)	Perda (m³)
Início	Fim									
1-mar	2-mar	148.999	27.186	67.461	44.525	1.694	261	333	403	7.136
2-mar	3-mar	140.784	23.927	69.556	42.583	-325	310	-258	1.388	3.602
3-mar	4-mar	140.602	24.514	64.850	49.545	-1.178	180	-107	-886	3.684
4-mar	5-mar	144.943	23.337	68.727	43.310	4.715	-409	324	2.072	2.867
5-mar	6-mar	146.065	26.509	71.227	46.401	-3.801	2.043	3	35	3.648
6-mar	7-mar	135.686	25.215	63.368	45.299	880	-1.830	-44	-1.371	4.169
7-mar	8-mar	148.797	23.537	73.369	43.743	5.001	-1.438	6	835	3.744
8-mar	9-mar	136.351	23.594	67.439	46.955	-5.257	588	19	-559	3.572
9-mar	10-mar	137.169	23.142	62.970	45.183	1.912	686	-141	-344	3.762
10-mar	11-mar	134.779	22.450	64.920	45.267	-1.556	327	16	-290	3.646
11-mar	12-mar	147.552	27.195	75.236	44.582	-3.449	-49	9	756	3.272
12-mar	13-mar	161.272	28.593	68.684	50.901	-1.396	1.046	145	-460	13.759
13-mar	14-mar	148.378	26.307	69.712	45.740	3.445	-2.435	-25	1.152	4.481
14-mar	15-mar	135.568	24.224	63.154	45.412	-291	1.503	-60	-1.629	3.254
15-mar	16-mar	147.558	23.482	76.498	43.737	1.820	-1.095	-443	-627	4.185
16-mar	17-mar	147.549	24.264	72.074	44.662	1.166	801	396	157	4.029
17-mar	18-mar	142.349	21.864	74.185	45.297	-3.346	-752	-242	1.471	3.871
18-mar	19-mar	144.861	25.029	67.721	43.836	3.701	82	342	512	3.638
19-mar	20-mar	134.930	25.843	67.790	45.692	-6.336	1.389	-452	-2.555	3.559
20-mar	21-mar	147.791	26.814	66.026	44.162	6.825	-1.078	478	673	3.892
21-mar	22-mar	142.375	22.563	69.636	46.053	-325	-1.634	-3	483	5.602
22-mar	23-mar	142.992	24.260	70.836	45.734	-780	-114	-13	-782	3.851
23-mar	24-mar	146.306	26.604	69.837	46.257	-455	-49	-9	411	3.710
24-mar	25-mar	141.760	26.965	67.945	44.759	-2.371	1.471	41	-55	3.005
25-mar	26-mar	147.364	29.516	65.613	44.513	3.222	-1.405	-336	1.859	4.383
26-mar	27-mar	125.810	24.389	59.971	40.672	-4.331	3.399	302	-921	2.330
27-mar	28-mar	135.234	25.543	59.713	41.503	6.370	-3.889	-25	1.333	4.687
28-mar	29-mar	127.773	21.083	64.159	42.990	-2.176	278	-236	-1.071	2.746
29-mar	30-mar	139.605	22.151	69.557	42.687	2.306	605	185	-58	2.173



E – Zonas de Medição e Controlo

## 1. Perdas Subsistema Lever-Norte, abril.

Dia		Jovim (m³)	Ramalde (m³)	Pedrouços (m³)	Linha Circunvalação (m³)	Total (m³)
1-abr	4-abr	1.364	1.030	968	1.231	4.593
4-abr	5-abr	1.852	811	855	612	4.130
5-abr	6-abr	1.979	767	1.152	439	4.337
6-abr	7-abr	1.821	822	1.218	509	4.371
7-abr	8-abr	1.659	817	996	428	3.899
8-abr	11-abr	1.871	577	1.043	518	4.010
11-abr	12-abr	1.784	844	1.221	796	4.644
12-abr	13-abr	1.630	1.013	1.863	70	4.576
13-abr	14-abr	749	773	1.104	1.686	4.313
14-abr	15-abr	105	754	1.342	333	2.535
15-abr	18-abr	1.905	630	2.640	520	5.695
18-abr	19-abr	2.026	254	620	269	3.168
19-abr	20-abr	1.810	507	1.467	389	4.173
20-abr	21-abr	2.255	371	1.278	449	4.352
21-abr	22-abr	2.036	459	1.014	354	3.862
22-abr	25-abr	1.935	478	958	313	3.683
25-abr	26-abr	1.657	911	1.368	682	4.618
26-abr	27-abr	2.389	54	1.238	853	4.534
27-abr	28-abr	1.869	464	1.126	272	3.730
28-abr	29-abr	2.017	418	1.567	344	4.346
29-abr	1-mai	2.170	358	1.252	553	4.333

## 2. Perdas Subsistema Lever-Norte, maio.

Dia		Jovim (m³)	Ramalde (m³)	Pedrouços (m³)	Linha Circunvalação (m³)	Total (m³)
1-mai	2-mai	1.663	933	1.829	565	4.990
2-mai	3-mai	239	200	1.162	337	1.938
3-mai	4-mai	464	697	1.745	678	3.584
4-mai	5-mai	1.686	519	1.237	742	4.184
5-mai	6-mai	2.077	386	906	1.016	4.385
6-mai	9-mai	2.029	774	788	1.006	4.597
9-mai	10-mai	2.136	143	1.177	830	4.286
10-mai	11-mai	5.123	573	1.318	874	7.888
11-mai	12-mai	2.153	264	1.115	695	4.227
12-mai	13-mai	1.702	635	1.380	613	4.330
13-mai	16-mai	2.192	404	1.263	895	4.754
16-mai	17-mai	2.230	502	1.058	737	4.527
17-mai	18-mai	2.434	745	1.509	791	5.479
18-mai	19-mai	2.659	547	1.183	736	5.125
19-mai	20-mai	3.091	232	1.316	798	5.437
20-mai	23-mai	3.046	227	1.290	1.137	5.700
23-mai	24-mai	3.209	278	1.239	1.356	6.082
24-mai	25-mai	3.142	-147	1.507	1.229	5.731
25-mai	26-mai	2.944	-23	754	1.079	4.754
26-mai	27-mai	3.053	246	2.191	1.096	6.586
27-mai	30-mai	3.002	230	1.574	1.201	6.008
30-mai	31-mai	1.937	178	1.499	1.085	4.699
31-mai	1-jun	3.404	-65	1.562	1.020	5.921

### 3. Perdas Subsistema Lever-Norte, junho.

Dia		Jovim (m³)	Ramalde (m³)	Pedrouços (m³)	Linha Circunvalação (m³)	Total (m³)
1-jun	2-jun	3.485	49	1.560	1.075	6.169
2-jun	3-jun	3.406	42	1.395	1.087	5.930
3-jun	6-jun	3.760	-77	1.451	1.191	6.325
6-jun	7-jun	3.512	210	1.627	1.241	6.590
7-jun	8-jun	4.089	-72	1.646	1.178	6.841
8-jun	9-jun	4.260	-532	1.584	1.207	6.519
9-jun	13-jun	1.309	-40	1.568	1.297	4.134
13-jun	14-jun	1.575	-294	1.985	1.143	4.409
14-jun	15-jun	582	317	652	1.288	2.839
15-jun	16-jun	867	395	1.218	1.223	3.703
16-jun	17-jun	875	178	1.459	1.154	3.666
17-jun	20-jun	594	350	1.428	1.221	3.593
20-jun	21-jun	1.257	216	1.785	1.175	4.433
21-jun	22-jun	1.474	283	1.391	1.367	4.515
22-jun	23-jun	996	290	1.770	1.153	4.209
23-jun	27-jun	1.210	-78	1.472	1.480	4.083
27-jun	28-jun	1.233	-254	1.830	1.726	4.535
28-jun	29-jun	1.449	113	1.181	1.450	4.193
29-jun	30-jun	1.930	-508	1.787	755	3.964
30-jun	1-jul	486	-61	1.199	1.588	3.212

#### 4. Perdas Subsistema Lever-Norte, julho

Dia		Jovim (m³)	Ramalde (m³)	Pedrouços (m³)	Linha Circunvalação (m³)	Total (m³)
1-jul	4-jul	242	-192	1.685	1.473	3.208
4-jul	5-jul	805	-545	1.001	1.604	2.865
5-jul	6-jul	558	-353	1.952	1.343	3.500
6-jul	7-jul	415	-239	1.699	1.363	3.238
7-jul	8-jul	853	-512	1.308	1.693	3.342
8-jul	11-jul	278	-423	1.665	1.484	3.004
11-jul	12-jul	-436	-124	1.578	1.385	2.403
12-jul	13-jul	-1.577	384	1.739	1.461	2.007
13-jul	14-jul	-963	392	1.723	1.286	2.438
14-jul	15-jul	2.935	-195	1.743	1.441	5.924
15-jul	16-jul	1.477	-833	1.661	1.418	3.723
16-jul	17-jul	683	-562	1.371	1.597	3.089
17-jul	18-jul	-203	68	2.157	1.532	3.554
18-jul	19-jul	1.109	-640	1.605	1.431	3.505
19-jul	20-jul	370	-214	1.615	1.341	3.112
20-jul	21-jul	414	-396	1.975	1.439	3.432
21-jul	22-jul	1.060	-778	1.806	1.588	3.676
22-jul	23-jul	927	-646	1.160	1.642	3.083
23-jul	24-jul	975	-560	1.920	1.713	4.048
24-jul	25-jul	799	-70	2.022	2.005	4.756
25-jul	26-jul	953	-583	1.876	1.923	4.169
26-jul	27-jul	229	-124	1.827	2.008	3.940
27-jul	28-jul	570	-636	2.069	2.154	4.157
28-jul	29-jul	3	-287	1.729	2.066	3.511